



Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas



SERIE TÉCNICA: GOBERNANZA FORESTAL Y ECONOMÍA. NÚMERO 3

**Programa Regional
de Cambio Climático**



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas

Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas

Restauración de paisajes forestales: Albert Morera Beita y Carola Scholz

Restauración en terrenos de vocación agrícola: Raúl Botero y Ricardo O. Russo

El papel de los viveros forestales en la restauración: Andrés Sanchún y German Obando

Monitoreo y evaluación de proyectos de restauración del paisaje: Manuel Spinola

La designación de entidades geográficas y la presentación del material en este libro no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ni del Programa Regional de Cambio Climático de USAID ni del Departamento de Desarrollo Internacional de UK-AID respecto a la condición jurídica de ningún país, territorio o área, o de sus autoridades, o referente a la delimitación de sus fronteras y límites.

Los puntos de vista que se expresan en esa publicación no reflejan necesariamente los de la UICN, del Programa Regional de Cambio Climático de USAID o del Departamento de Desarrollo Internacional de UK-AID.

Esta publicación ha sido posible gracias a la generosidad del Programa Regional de Cambio Climático de USAID y el Departamento de Desarrollo Internacional de UK-AID.

Publicado por: UICN, Oficina Regional para México, América Central y el Caribe. San José, Costa Rica.

Derechos reservados: © 2016 Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN)

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin el permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor, siempre y cuando se mencione la fuente.

Se prohíbe reproducir esta publicación para la venta o para otros fines comerciales sin el permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Citación: Andrés Sanchún, Raúl Botero, Albert Morera Beita, Germán Obando, Ricardo O. Russo, Carola Scholz y Manuel Spinola (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. UICN, San José, Costa Rica. XIV + 436p.

ISBN: 978-9968-938-72-3

Coordinación y edición técnica: Andrés Sanchún

Revisión editorial: Martha Lucía Gómez Zuluaga

Diagramación: Renzo Pigati

Diseño: Scriptorium Taller de Diseño Editorial

Impresión: Masterlitho S.A.

Fotografía de portada: Vivero: Patricia Ugalde. Flores blancas y cerca: Andrés Sanchún. Hojas: José González.

Disponible en: UICN/Oficina Regional para México, América Central y el Caribe
San José, Costa Rica
Tel: ++506 2283 8449
Fax: ++506 2283 8472
ormacc@iucn.org
www.iucn.org/ormacc

Este libro ha sido impreso en papel offset 90 gramos (páginas interiores) y couché mate 350 gramos (portada). El papel utilizado para la impresión de esta publicación ha sido producido bajo procesos sostenibles, totalmente libre de cloro y totalmente libre de efluentes. Las tintas utilizadas fueron fabricadas con base en aceites vegetales biodegradables.

Contenido general

Presentación del manual	ix
Agradecimientos	xiii
1. Restauración de paisajes forestales	1
Definición y conceptos	13
Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas terrestres	25
Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas acuáticos continentales	103
2. Restauración en terrenos de vocación agrícola	163
Sistemas agroforestales en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas	175
Sistemas silvopastoriles en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas	251
3. El papel de los viveros forestales en la restauración	343
4. Monitoreo y evaluación de proyectos de restauración del paisaje	411

Presentación del manual

Si se gestionan adecuadamente los ecosistemas producen un flujo de servicios que son vitales para la humanidad como la producción de bienes (alimentos), los procesos de soporte de vida (purificación del agua) y condiciones de vida (la belleza y las oportunidades de recreación); y la conservación de las opciones de uso (la diversidad genética para el futuro). A pesar de su importancia, este capital natural no se conoce bien, está apenas monitoreado, y, en muchos casos, está sometido a una rápida degradación y agotamiento.¹

En el campo internacional el tema de la restauración del capital natural ha cobrado mucha fuerza. En el presente, recibe mucha atención y reconocimiento a través de las decisiones internacionales relacionadas con el cambio climático y la biodiversidad.² En octubre del 2010, en Nagoya, Japón, cerca de 200 gobiernos asistentes a la Conferencia del Convenio para la Diversidad Biológica adoptaron como objetivo restaurar, para el año 2020, al menos el 15% de los ecosistemas degradados. En diciembre del 2010, en Cancún, México, las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático acogieron la meta de disminuir, detener e invertir la pérdida de cobertura forestal y carbono, mediante acciones de reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD+). En febrero del 2011, el Foro de las Naciones Unidas para los Bosques instó a los estados miembros, y a otros estados, continuar el trabajo del Grupo Global de Restauración del Paisaje Forestal (GPFLR), para desarrollar e implementar la restauración del paisaje forestal.

Al día de hoy, la restauración del paisaje es reconocida como un medio importante, no solo para recuperar la integridad ecológica, sino también para generar beneficios locales y globales adicionales, al aumentar los medios de subsistencia, las economías, los alimentos y la producción de combustibles, la seguridad del agua y la adaptación y mitigación al cambio climático. Los datos más recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), indican que un 26% de los suelos en Mesoamérica tienen

1 <http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html>

2 Newton, A.C. y Tejedor, N. 2011. Principios y prácticas de la restauración del paisaje forestal. UICN-FIRE. Madrid, España. 436 p.

algún tipo de degradación debido a la mala gestión. Las causas principales son el uso y las prácticas insostenibles de ordenación de la tierra y los fenómenos climáticos extremos.

Afortunadamente, la mayoría de los países en Mesoamérica se han comprometido con iniciativas globales dirigidas a la mitigación de gases efecto invernadero (GEI), el mantenimiento y mejora de los medios de vida locales, la conservación de la biodiversidad, el agua, el suelo y la seguridad alimentaria (p. ej. iniciativa REDD+ y El Desafío de Bonn para la restauración de 150 millones de hectáreas de tierras degradadas).

Mesoamérica experimenta un creciente impulso hacia la Restauración Funcional del Paisaje (RFP) como un medio para vincular la mitigación del carbono con otros beneficios ambientales y sociales. Guatemala, El Salvador, Costa Rica y Honduras se han adherido al Desafío de Bonn con el compromiso de restaurar un total de 4.2 millones de hectáreas.

Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y los estados mejicanos de Quintana Roo, Yucatán y Campeche, evalúan actualmente las oportunidades de restauración, asimismo, exploran el potencial de mitigación de la RFP, a través de un análisis costo-beneficio de las principales transiciones identificadas para mejorar y mantener el capital natural. Estas evaluaciones de oportunidades de restauración son utilizadas como insumo en diferentes programas de los gobiernos relacionados con la mitigación, tales como, los programas de reducción de emisiones sometidos al servicio de asociación para el carbono forestal (FCPF, por su sigla en inglés), por los gobiernos de Guatemala y Nicaragua, así como el Aporte a las Contribuciones Nacionales (INDC, por su sigla en inglés) del gobierno de Guatemala, que integra, de este modo, las acciones de RFP con las estrategias REDD+ y *Nationally Appropriate Mitigation Actions* (NAMA) de la región.

Cuadro 1. Áreas potenciales de restauración para Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México y Nicaragua

País		Región	Área potencial de restauración (ha)
Costa Rica	Nacional		2 622 050
Salvador	Nacional		1 253 077
Guatemala	Nacional		3 989 465
México	Península de Yucatán (estados de Quintana Roo, Campeche y Yucatán)		4 295 826
Nicaragua	RACCN		1 204 893
Total en la región			13 365 311

Fuente: resultados obtenidos por UICN-ORMACC mediante la metodología ROAM, 2015.

El progreso en la región es variable y el financiamiento todavía enfrenta barreras. Costa Rica y Guatemala han sido capaces de iniciar acciones tempranas utilizando fondos públicos como

un medio para desencadenar la inversión privada. El Salvador y Nicaragua buscan seguir su ejemplo al iniciar el diseño e implementación de mecanismos financieros para evitar así, la degradación de los bosques y restaurar el paisaje rural. Se requiere estimular aún más la inversión privada, especialmente a través de modelos de negocio sostenibles en zonas priorizadas. En Costa Rica y Guatemala actualmente se desarrollan carteras de inversión de impacto con el fin de atraer financiamiento privado para implementar la RFP.

Adicional a las dificultades del financiamiento se encuentra el tema de escalamiento de acciones de restauración. Para tal efecto será necesario proporcionar a los gobiernos de los diferentes países, además de financiamiento, insumos técnicos y tecnológicos para el mejoramiento del capital natural, la dotación de bienes y servicios ecosistémicos y el bienestar humano. Con el mismo propósito, se trata de reducir la vulnerabilidad y mitigar los efectos del cambio climático para contribuir con el cumplimiento de los retos y los compromisos internacionales.

Como un primer paso, dirigido a generar estos insumos técnicos, la UICN ha desarrollado este manual de estrategias de restauración para paisajes rurales de Mesoamérica. La restauración del paisaje, en esta guía, la delimitamos como el proceso de recuperación de las funciones de los ecosistemas degradados y la inevitable participación social en los paisajes a restaurar. Como objetivo, se plantea mejorar los medios de vida de las comunidades inmersas en el paisaje a través de bienes y servicios ecosistémicos que este ofrece.

El enfoque de restauración busca desarrollar un paisaje atractivo y saludable para reemplazar al que no lo es, intentando fortalecer la resiliencia y las funciones ambientales, lo cual consiste en la puesta en práctica de un mosaico de técnicas (agroforestales y ecológicas) para fortalecer la capacidad de recuperación de los paisajes.

Este manual está dividido en cuatro capítulos, el primero muestra las estrategias de restauración en ambientes forestales (áreas protegidas, bosques degradados de dominio público y comunal, ecosistemas acuáticos continentales, entre otros); el segundo, está encaminado a desarrollar estrategias de restauración en terrenos de vocación agrícola (pasturas, cultivos anuales, cultivos perennes, entre otros); el tercero, está orientado hacia la importancia de los viveros como fuentes primordiales de provisión de materia prima para la restauración y, el cuarto, desarrolla los aspectos técnicos que deberían ser incluidos en el monitoreo de proyectos de restauración.

Este documento es una herramienta para cualquier persona que esté interesada en restaurar ecosistemas degradados: propietarios, profesionales, estudiantes y responsables políticos.

Agradecimientos

Extendemos nuestro agradecimiento al Proyecto Gobernanza, Bosques y Mercados financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID) del UK-AID y al Programa Regional de Cambio Climático (PRCC) de la USAID, por su aporte financiero.

Asimismo, agradecemos a la Fundación para la Conservación de la Cordillera Volcánica Central (Fundecor) y al Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav) por los datos suministrados. Finalmente, nuestro reconocimiento a todas aquellas personas que aportaron sus fotografías para enriquecer este manual.

1

Restauración de paisajes forestales

Autores | **Carola Scholz**
| **Albert Morera Beita**

Contenido

1.	Definición y conceptos	13
1.1	Bases conceptuales de los principios que rigen las acciones de restauración	13
1.1.1	La sucesión natural o restauración pasiva como medio de recuperación de ecosistemas	13
1.1.2	La restauración activa como medio de recuperación y/o manejo integral de ecosistemas	15
1.1.3	Sucesión asistida a través de técnicas de nucleación.....	16
1.1.4	Importancia, función y aportes de las estrategias de restauración en áreas degradadas a la adaptación y mitigación del cambio climático...	17
	Bibliografía	20
2.	Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas terrestres	25
2.1	Estrategias de restauración en áreas naturales protegidas	25
2.1.1	Áreas protegidas categorías de UICN, Ia, Ib, II y III.....	27
2.1.2	Áreas protegidas categorías de UICN, IV, V, VI y zonas de amortiguamiento.....	36
2.2	Estrategias de restauración en bosques y selvas privadas y comunales	49
2.2.1	Bosques y selvas primarias y secundarias con un enfoque de aplicación de prácticas de manejo forestal sostenible (MFS)	51
2.2.2	Bosques y selvas primarias y secundarias degradadas.....	69
2.3.	Recuperación de suelos degradados por extracción en minas y canteras (tajos).....	76
	Bibliografía	96
3.	Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas acuáticos continentales	103
3.1	Restauración de humedales	106

3.1.1	Objetivos de la restauración en humedales	107
3.1.2	Selección de los sitios por restaurar	108
3.2	Restauración de zonas riparias de ríos y áreas de nacientes.....	120
3.2.1	Objetivos de la restauración de zonas riparias de ríos y áreas de nacientes	121
3.2.2	Selección de los sitios por restaurar	122
3.3	Restauración de manglares	141
3.3.1	Objetivos de la restauración de manglares	142
3.3.2	Selección de los sitios por restaurar	143
3.3.3	Técnicas de implementación	146
	Bibliografía	156

Índice de cuadros y figuras

Cuadros

2. Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas terrestres

1.	Las categorías de manejo de áreas protegidas de la UICN.....	26
2.	Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar.....	41
3.	Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada gremio ecológico en relación con su diagrama de siembra	42
4.	Número de individuos y distanciamiento para plantar cada gremio ecológico en los sitios de rehabilitación de las áreas protegidas y las zonas de amortiguamiento	44
5.	Número de individuos y distanciamiento para plantar cada gremio ecológico en los sitios de rehabilitación de las áreas protegidas y las zonas de amortiguamiento	48
6.	Ejemplo de la abundancia por hectárea de los árboles remanentes ≥ 50 cm de DAP en un bosque húmedo tropical, después de 25 años de su aprovechamiento en la Reserva Forestal Golfo Dulce.....	61
7.	Tamaño del claro, densidad de siembra y distanciamiento en el sistema de enriquecimiento en claros para bosques y selvas	64
8.	Tabla de distancias para la liberación de árboles	68
9.	Patrones de uso del suelo que originan bosques primarios y secundarios con diferente grado de degradación en los trópicos.....	71
10.	Categorías de pendiente en función del relieve.....	73
11.	Propuesta de manejo para las fajas productivas de enriquecimiento en bosques y selvas primarios y secundarios degradados.....	74
12.	Ventajas y limitaciones de las fitotecnologías	80
13.	Descripción y simbología de las técnicas de nucleación en la sucesión asistida en sitios de minas o canteras.....	92
14.	Dosificación general de semillas por área, distanciamiento y cantidad de individuos para cada uno de los grupos funcionales de plantas recomendadas en la revegetación de suelos degradados en sitios de minería y canteras.....	95

3. Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas acuáticos continentales

1.	Características de cada uno de los subsistemas que componen los ecosistemas acuáticos.....	105
2.	Valores de los ecosistemas acuáticos asociados a las acciones de restauración de este manual.....	106
3.	Información relevante por considerar para la planificación y selección de los sitios por restaurar en humedales.....	109
4.	Tamaños de franja de cobertura permanente recomendada para mantener y/o restaurar en función del área del humedal	110
5.	Información relevante a considerar para la planificación y selección de los sitios por restaurar en humedales	113
6.	Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar para las zonas de cobertura permanente en los humedales.....	116
7.	Cantidad de individuos para plantar de cada gremio ecológico, por hectárea, en relación con su diagrama de siembra en las zonas de cobertura permanente de los humedales	117
8.	Número de individuos por plantar y distanciamiento por cada gremio ecológico para sitios de rehabilitación de humedales	118
9.	Características de cada uno de los subsistemas que componen los ecosistemas acuáticos.....	125
10.	Descripción y simbología de las técnicas de nucleación en la sucesión asistida en zonas de ribera y nacientes	127
11.	Cantidad de especies para combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar en las zonas de cobertura permanente de los humedales.....	130
12.	Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada gremio ecológico por utilizar en relación con su sistema de siembra en los tramos de riberas con restauración ecológica.....	130
13.	Especies, número de individuos y distanciamiento por cada gremio ecológico para sitios de rehabilitación en las zonas de riberas y nacientes y zonas de amortiguamiento	132
14.	Guía de tratamientos recomendados en la conservación de suelos para el control de erosiónn	133
15.	Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada especie de mangle en relación con su diagrama de siembra en las diferentes zonas de manglares.....	152
16.	Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada especie de mangle en relación con su diagrama de siembra en las diferentes zonas de manglares.....	154

Figuras

1. Definición y conceptos

1. Relación del tiempo entre un proceso de sucesión natural y las múltiples acciones de restauración en el desarrollo de un ecosistema 14
2. Representación esquemática del concepto de restauración en función de las múltiples trayectorias de restitución del ecosistema 16

2. Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas terrestres

1. Distribución de perchas para una hectárea de área por restaurar 29
2. Distribución de los sitios de siembra de las semillas, en cada sitio se siembran tres a cinco semillas en cinco huecos para una hectárea por restaurar..... 30
3. Distribución de las plántulas en la técnica de siembra en grupos de Anderson..... 31
4. Conformación del sistema de siembra de plántulas..... 31
5. Transporte del suelo al sitio por restaurar con micro y macro organismos que facilita la colonización..... 32
6. Distribución de los sitios de transposición de suelos en una hectárea por restaurar 32
7. Construcción de refugios artificiales 33
8. Distribución de los refugios artificiales para una hectárea del sitio por restaurar 33
9. Construcción de refugios artificiales a partir de restos de madera de zonas aledañas del área por restaurar..... 33
10. Trampa de semillas para colecta en fragmentos de bosques secundarios y primarios.. 35
11. Esquema para el recorrido y la distribución por lluvia de semillas para una hectárea de área por restaurar..... 35
12. Diagrama de las técnicas de nucleación por combinar para un área de 10 hectáreas .. 36
13. Diagrama de acciones de restauración para implementar en áreas protegidas categorías UICN, IV, V, VI y zonas de amortiguamiento 38
14. Diagrama con la secuencia y relaciones de los pasos por seguir para implementar acciones de restauración ecológica en áreas protegidas 40

15.	Relación entre el número de especies y las funciones ecológicas, entre un ecosistema con sucesión natural y sucesión asistida por procesos de restauración activa.....	40
16.	Plántulas germinadas en un fragmento de bosque húmedo tropical	41
17.	Diagrama de siembra sugerido para un área de 1 800 m ² (51,5 x 36,75 m) con un distanciamiento de 3,5 x 3,5 metros en el sistema de siembra tresbolillo de restauración ecológica.....	42
18.	Diagrama de los arreglos de siembra en la acciones de rehabilitación en áreas protegidas categorías IV, V y VI y en la zonas de amortiguamiento.....	45
19.	Diagrama secuencial de los pasos por seguir en la selección de especies en riesgo y el establecimiento de los ensayos de restauración de especies	47
20.	Diagrama de los arreglos de siembra en la acciones de restauración de especies con poblaciones reducidas en áreas protegidas categorías IV, V y VI y en las zonas de amortiguamiento	48
21.	Combinación de acciones de restauración para varias técnicas de implantación en un área de 10 hectáreas, en áreas protegidas y zonas de amortiguamiento	49
22.	Esquema indicador de la degradación de los paisajes forestales. Muestra las áreas potenciales para restauración y rehabilitación, así como las áreas donde se pueden implementar acciones de ordenación forestal.....	50
23.	Esquema hipotético de los estratos que pueden conformar un paisaje forestal.....	51
24.	Diagrama de acciones de manejo forestal para implementar en bosques y selvas	54
25.	Diagrama de acciones de manejo forestal mediante dos metodologías de corta utilizado en los bosques aprovechados del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central, Costa Rica por el programa de Manejo de Bosque Naturales de la Fundación de Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central.....	59
26.	Diagrama de ubicación de los carriles, así como la instalación de las parcelas en el campo para un muestreo de remanencia	61
27.	Esquema de siembra para enriquecimiento en fajas en bosques tropicales.....	63
28.	Conformación de un claro generado por la caída de un árbol, la parte inferior representa los patrones hipotéticos en relación con la variación de luz, temperatura y humedad en las tres zonas del claro	64
29.	Esquema de siembra para claros con tamaños entre los 100 a 150 m ²	65
30.	Esquema de siembra para claros con tamaños entre los 151 a 250 m ²	65
31.	Esquema de siembra para claros con tamaños entre los 251 a 400 m ²	65

32.	Esquema de siembra para las áreas impactadas por construcción de trochas o pistas de arrastre posterior al aprovechamiento como un medio de recuperación y enriquecimiento en bosques aprovechados.....	66
33.	Esquema que permite clasificar las condiciones de iluminación de los árboles de futura cosecha	68
34.	Esquema simplificado de la degradación de los bosques inducida por el ser humano..	69
35.	Esquema que representa de manera simple las dimensiones de recuperación posterior a un aprovechamiento de bosque o período de disturbio y sus posibles condiciones finales de recuperación	71
36.	Diseño de enriquecimiento en líneas productivas para áreas con bosques primarios o secundarios degradados	74
37.	Diseño de enriquecimiento en franjas de cosecha para áreas con bosques primarios o secundarios degradados y que presenta una topografía plana o ligeramente ondulada	75
38.	Principales causas de la degradación de suelos.....	76
39.	Principales estrategias implicadas en la fitorremediación de suelos, en el sistema suelo-planta-microorganismos	79
40.	Diagrama que muestra la secuencia de pasos por seguir para la caracterización del sitio por restaurar	86
41.	Representación esquemática de la distribución de las técnicas de nucleación en sitio de minas o canteras para cuatro hectáreas	93

3. Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas acuáticos continentales

1.	Perfil generalizado de los tipos estructurales de vegetación acuática, semiacuática en un humedal en conjunto con la franja de cobertura arbórea permanente.....	112
2.	Perfil esquemático de las zonas transversales de un humedal en función del comportamiento del nivel del espejo de agua y la fluctuación del nivel freáticos	116
3.	Diagrama de los arreglos de siembra en la acciones de restauración ecológica y rehabilitación de humedales para esquemas cuadrangulares y distribución cuadrada	119
4.	Diagrama de los arreglos de siembra en la acciones de restauración ecológica y rehabilitación de humedales, siembra en contorno y en función de las curvas de nivel.	119
5.	Diagrama de siembra en las acciones de restauración ecológica y rehabilitación de humedales en siembra con el patrón tresbolillo	120

6.	Diagrama para la identificación de las actuaciones en la restauración de zonas de riberas y nacientes en función de la causas de la degradación, sus alteraciones y posibles técnicas por implementar	124
7.	Perfil transversal de las zonas de ríos con las distintas franjas de coberturas arbórea y su tamaños mínimos propuestos	127
8.	Diagrama de las técnicas de nucleación por combinar con la sucesión asistida en zonas de ribera.....	128
9.	Diagrama de las técnicas de nucleación por combinar con la sucesión asistida en zonas de protección de nacientes.....	128
10.	Diagrama de siembra sugerido para los tramos de ribera con restauración ecológica..	129
11.	Diagrama de los arreglos de siembra para utilizar en la acciones de rehabilitación en riberas y nacientes	132
12.	Esquema de construcción del canal de desviación o difusión de aguas.....	134
13.	Esquema de construcción del canal longitudinal de sacos.....	134
14.	Esquema de construcción del canal transversal simple.....	135
15.	Esquema de construcción de la zanja de infiltración.....	135
16.	Esquema de construcción de terraza forestal.....	136
17.	Esquema de construcción de presas con postes o tronco de madera.....	136
18.	Esquema de construcción de presas de ramas.....	137
19.	Esquema de construcción de presas con sacos o geotextil.....	137
20.	Esquema de construcción de presas con neumáticos	138
21.	Esquema de construcción de diques con postes o troncos de madera	139
22.	Esquema de construcción de diques con estructura gavionadas.....	139
23.	Esquema de construcción de dissipadores de corriente	139
24.	Esquema de construcción de estructuras de postes o troncos de madera.....	140
25.	Esquema de construcción de muros con sacos rellenos.....	140
26.	Esquema de construcción de muros con llantas o neumáticos	140
27.	Esquema de construcción de muros con troncos o postes de madera.....	141

28.	Sistema de encajamiento para la siembra de plántulas de mangle, como un refuerzo de acreción artificial	149
29.	Diagrama de siembra para las diferentes zonas en función de la influencia de las mareas en ecosistemas de manglar	153
30.	Diagrama de siembra para las diferentes zonas en función de la influencia de las mareas en los ecosistemas de manglar y en la zona de transición con el área de cobertura arbórea	155

1. Definición y conceptos

1.1 Bases conceptuales de los principios que rigen las acciones de restauración

1.1.1 La sucesión natural o restauración pasiva como medio de recuperación de ecosistemas

La sucesión natural o restauración pasiva basa su estrategia en la regeneración natural, la cual depende de diferentes factores que limitan los mecanismos naturales de regeneración, entre ellos pueden mencionarse: el estado del banco de semillas, el grado de conectividad de paisajes, la lluvia de semillas, el tamaño del área perturbada, la fuente de semillas y los agentes dispersores. En la restauración pasiva, la intervención consiste en retirar o eliminar los factores tensionantes o los disturbios que causan la degradación del sistema para que se regenere por sí solo (SER 2004). En algunos casos esta estrategia es la más adecuada, en situaciones donde la degradación no es extensa y existe una buena proporción de fragmentos de bosques residuales con buenas condiciones de biodiversidad, lo que favorecerá los procesos de colonización y sucesión natural (Lamb y Gilmour 2003).

En la actualidad, muchos paisajes rurales se caracterizan por la presencia de fragmentos esparcidos en una matriz muy diversa de paisajes y, con frecuencia, su tamaño forma áreas de unas pocas hectáreas donde es común que el grado de alteración sea tan severo que las posibilidades naturales de recuperación sean muy limitadas (Turner y Corlett 1996, Guevara et ál. 2004, Laurence et ál. 2004).

La estabilidad de los ecosistemas depende de la composición de especies, su estructura y su funcionamiento, por lo tanto, la implementación de estrategias de restauración va dirigida a recuperar la biodiversidad, la integridad ecológica y la salud ecológica. La biodiversidad es su composición de especies, la integridad ecológica comprende su estructura y función y, finalmente, la salud ecológica abarca la capacidad de recuperación después de un disturbio, lo que en conjunto garantiza su sostenibilidad (Trombulak et ál. 2004).

En consecuencia, la capacidad de restaurar un ecosistema dependerá de una gran variedad de condiciones previas del área perturbada, como por ejemplo: el estado del ecosistema antes y después del disturbio, la alteración de los regímenes hidrológicos, el grado de alteración o pérdida de suelos, las facilidades de reconstrucción de su estructura y composición, y por último, el acercamiento de las funciones del ecosistema preexistente (Vargas 2007). Entonces, el éxito de la restauración dependerá de los patrones de regeneración, las estrategias reproductivas, los mecanismos de dispersión, las tasas de crecimiento y otros rasgos de historia de vida o atributos vitales de las especies, así como el rol que juega la fauna en los procesos de regeneración como medios de transporte de semillas, ya sea por su ingesta (endozoocoría) o su traslado al adherirse al cuerpo (Epizoocoría).

Los paisajes rurales desprovistos de vegetación pueden regenerarse por medio de la sucesión natural o restauración pasiva. Sin embargo, esta recomposición puede ser extremadamente lenta o inhibida en paisajes con un alto grado de fragmentación o por procesos que han provocado un alto deterioro de sus condiciones naturales (Figura 1). Por lo tanto, se requieren técnicas que faciliten los procesos ecológicos para disminuir los tiempos de recuperación de los entornos naturales. La restauración ecológica permite, de forma intencional, acelerar el restablecimiento del ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (SER 2004). La rehabilitación permite un mejoramiento del ecosistema desde un estado degradado (Lake 2001, Bradshaw 2002), hasta el restablecimiento de la estructura y funciones básicas, particularmente la productividad (Walker y del Moral 2003). La recuperación, por su parte, nos facilita restablecer un ecosistema funcional, cuya composición y estructura no intentan reflejar las del ecosistema original sino que genera acciones para estabilizar el paisaje e incrementar la utilidad o valor económico de un sitio al lograr el establecimiento de algún tipo de vegetación (Walker y del Moral 2003).

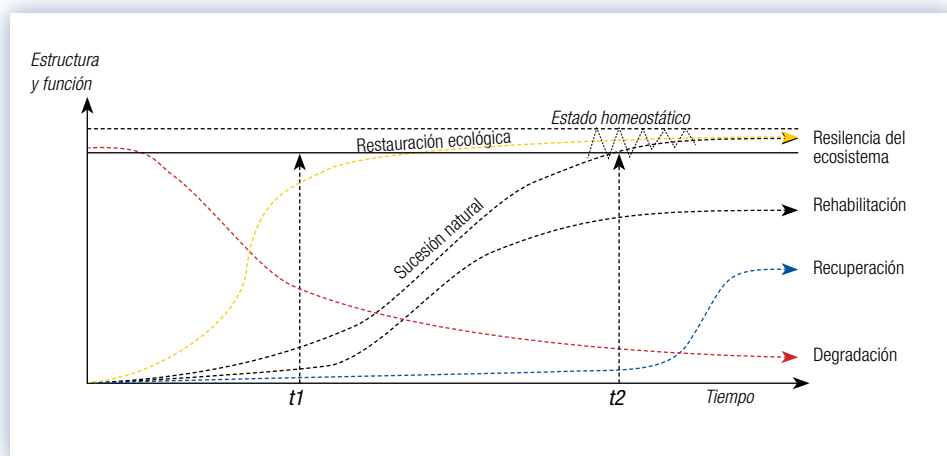


Figura 1. Relación del tiempo entre un proceso de sucesión natural y las múltiples acciones de restauración en el desarrollo de un ecosistema, basado en Bradshaw (1996) y Barrera y Ríos (2002) con modificaciones de los autores.

1.1.2 La restauración activa como medio de recuperación y/o manejo integral de ecosistemas

La restauración activa se puede considerar como una actividad intencional que interrumpe los procesos responsables de la degradación, disminuye las barreras bióticas y abióticas que impiden la recuperación del ecosistema, lo cual acelera los procesos de sucesión ecológica (Murcia y Guariguata 2014). Los procesos de restauración activa están principalmente asociados a tres conceptos: recuperación, rehabilitación y restauración (Lamb y Gilmour 2003, Machlis 1993):

- **Recuperación:** recuperación de la productividad en un sitio degradado utilizando principalmente especies diferentes a las presentes antes del disturbio. En algunos casos se establecen monocultivos o la combinación de un grupo muy reducido de especies. La diversidad biológica original no se recupera, pero la función de protección y muchos de los servicios ecológicos pueden ser restablecidos. Permite tener un ecosistema con una serie de atributos ecológicos que refuerza las interacciones con los ecosistemas circundantes.
- **Rehabilitación:** restablecimiento de la productividad y la presencia de un grupo de especies vegetales originalmente presentes. Por razones ecológicas o económicas, el nuevo bosque puede incluir especies que no estaban originalmente presentes. Con el tiempo, la función de protección del bosque y los servicios ecológicos pueden ser restablecidos.
- **Restauración:** el restablecimiento de la estructura, la productividad y la diversidad de las especies originalmente presentes en el bosque. Con el tiempo, los procesos ecológicos y las funciones coincidirán con las del bosque original. La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER 2004) define este concepto como “el proceso de ayudar en la recuperación de la salud, integridad y sostenibilidad de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”.

La recuperación está asociada a la restitución de algunos atributos elementales del componente físico del sistema que permiten recuperar la productividad de un sitio degradado. Se habla de rehabilitación cuando las acciones que se implementan en un ecosistema, permiten incrementar el potencial del área con mayores atributos ecológicos y se restablece la productividad y sus componentes, lo que conlleva a una mayor funcionalidad del ecosistema. La restauración se alcanza, idealmente, cuando han sido reparados todos los atributos de su estructura y las funciones equivalentes a los del ecosistema original, y con el tiempo, los procesos ecológicos y las funciones coincidirán con las del bosque original (Figura 2).

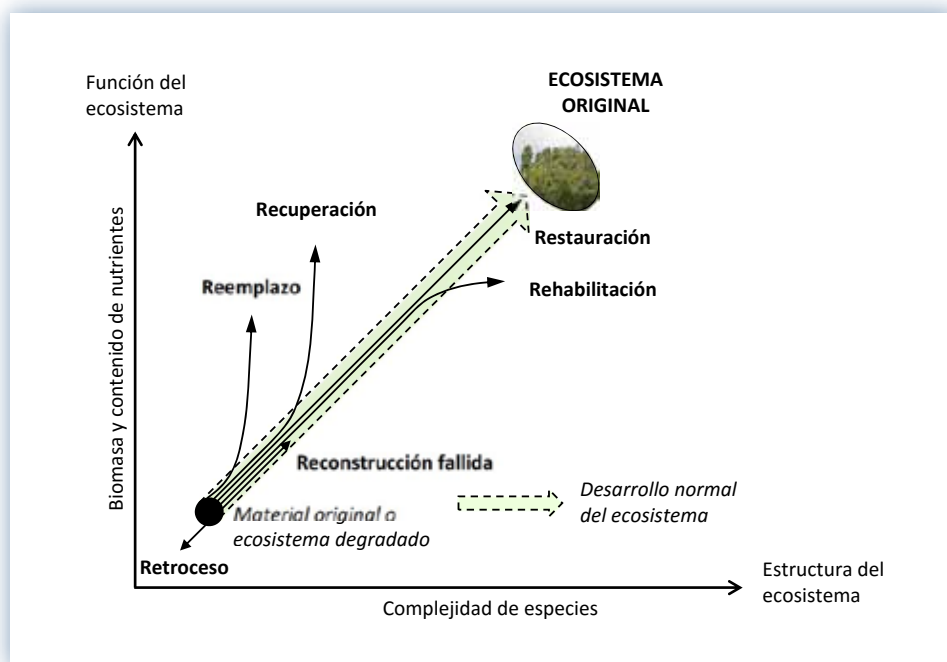


Figura 2. Representación esquemática del concepto de restauración en función de las múltiples trayectorias de restitución del ecosistema, basado en Bradshaw (1984) y con modificaciones de los autores.

La restauración activa implica la intervención humana para garantizar el desarrollo de los procesos de recuperación y superar así las tensiones que impiden el buen desarrollo de la regeneración natural. De tal manera, se busca incrementar la diversidad florística, con la introducción de nuevas especies, el mejoramiento de la conectividad entre los fragmentos y la disminución de los tiempos de recuperación de las áreas intervenidas. Por lo anterior, es recomendable implementar estrategias de restauración activa en aquellas áreas donde el método de restauración pasiva está asociado a un alto riesgo de fracaso y se requieren acciones inmediatas en la recuperación de los ecosistemas.

1.1.3 Sucesión asistida a través de técnicas de nucleación

Una de las principales limitantes en la gestión de las áreas protegidas es el acceso a los recursos financieros que permitan establecer programas dirigidos a la restauración de sus ecosistemas, entonces, la selección de estrategias de restauración para estas categorías de manejo deben ser de bajo costo y de una fácil aplicación.

La técnica de nucleación consiste en la formación de microhábitats como núcleos facilitadores para la llegada de especies animales y vegetales que, en un proceso sucesional, aumentan la probabilidad de la ocurrencia de interacciones interespecíficas (Yarranton y Morrison 1974). Es una técnica de restauración que se enfoca en modelos de manejo de la

biofuncionalidad de los ecosistemas que buscan su integración con el paisaje natural que los rodea (Zamora et ál. 2004, Bechara et ál. 2007, Benayas et ál. 2008, Zahawi et ál. 2013). El objetivo fundamental de esta técnica es la formación de microhábitats, que permitan una serie de eventos estocásticos para la regeneración natural, tales como el arribo de las especies y la formación de una red interactiva entre los organismos (Reis et ál. 2003).

El propósito es promover conductores ecológicos que aumenten la probabilidad de formación de diversas vías alternativas que, a su vez, potencien los estadios sucesionales y reduzcan el tiempo de recuperación. Tres y Reis (2007) consideran la nucleación como un proceso que implica cualquier elemento biológico o abiótico que fomente la formación de nichos de regeneración y colonización de nuevas poblaciones a través de la facilitación y la generación de nuevas conexiones en el paisaje degradado. En este proceso, la nucleación potencialmente integra paisajes fragmentados, ya que genera efectos hacia el interior (en las zonas a ser restauradas) y efectos hacia el exterior (en áreas desconectadas por fragmentación) (Reis y Tres 2007). Esta técnica funciona básicamente como un mecanismo de retroalimentación que permite la formación de núcleos de regeneración de alta diversidad y promueven la formación de un banco de semillas en los sitios seleccionados.

1.1.4 Importancia, función y aportes de las estrategias de restauración en áreas degradadas a la adaptación y mitigación del cambio climático

Los escenarios actuales, en cuanto a la pérdida y degradación de los ecosistemas, son cada vez más frecuentes y existe una mayor presión para cambiar el uso del suelo y transformar los paisajes forestales en cultivos agrícolas y ocupación ganadera. A pesar de las alternativas desarrolladas para obtener una mayor producción de los cultivos y las mejoras en la conservación de los suelos, hay un incremento de la superficie de tierras degradadas; alrededor de un tercio de los ecosistemas terrestres ha sido modificados por actividades agrícolas, ganaderas y forestales (Brovkin et ál. 2006). Los diferentes usos de la tierra para producir bienes y servicios representan la alteración antrópica más importante en los ecosistemas terrestres. Han transformado la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, han alterado la forma como interactúa la atmósfera con los ecosistemas acuáticos y terrestres lo que, a su vez, provoca cambios en los componentes que regulan y estabilizan el medioambiente mundial (Vitousek et ál. 1997).

En los años recientes, las actividades humanas han incrementado la emisión de gases efecto invernadero (GEI), principalmente, por el aumento en el consumo de combustibles fósiles y la deforestación, producto de la mayor demanda en las actividades productivas, según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC (2007). El dióxido de carbono (CO_2) es un gas efecto invernadero clave y los cambios en el ciclo mundial del carbono, que afectan la concentración atmosférica de CO_2 , son cruciales para el clima global. Los bosques desempeñan funciones importantes como fuentes y sumideros de CO_2 (FAO 2013) pues lo absorben mediante la fotosíntesis, lo almacenan como carbono y lo liberan con la

respiración, la descomposición y la combustión. La función de sumidero de carbono de un bosque aumenta con la tasa de crecimiento y la permanencia (FAO 2013).

Los bosques proveen una serie de servicios a la sociedad conocidos como servicios ecosistémicos, uno de ellos es la regulación del ciclo del carbono por medio del secuestro de carbono a través de los procesos fisiológicos que se ejecutan en la fotosíntesis (MEA 2005). Se predice que el cambio climático afectará y generará cambios en la composición y estabilidad de los ecosistemas. Estas alteraciones atmosféricas podrían originar variaciones en sus características estructurales y su diversidad, lo que provocaría que el servicio de captura de CO₂ atmosférico o la provisión de recursos genéticos en un sitio, sean alterados en su ciclo natural (Parmesan 2005, MEA 2005). Por su particularidad, los bosques son los que mayor integridad ecológica presentan en cuanto a la constitución de especies y las interrelaciones que se desarrollan entre ellas, pero esta integridad y su estabilidad se irán perdiendo a medida que los procesos de degradación forestal sigan ocurriendo. Por otra parte, el carbono almacenado en los bosques depende de la cantidad de biomasa que posean, incrementando o disminuyendo según el comportamiento de esta variable (IPCC 2006).

Una de las principales metas de la restauración pasiva y activa es reconstruir la estructura y la sucesión natural que permite su recuperación a través de las diferentes etapas sucesionales. La restauración activa permite acelerar procesos de recuperación de un ecosistema degradado en períodos más cortos y con resultados significativos en etapas tempranas (Morera y Scholz 2012, Fonseca y Morera 2008).

Una de las medidas más comunes para evaluar el éxito de los proyectos de restauración es la cuantificación de su biomasa. Su medición ha estado correlacionada con las características estructurales de los individuos vegetales que componen el ecosistema. El método más común para calcular la biomasa es medir las características estructurales de los individuos, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura (m) (Chave et ál. 2005, Phillips et ál. 2008). La acumulación de biomasa por parte de los proyectos de restauración es uno de los principales aportes dirigidos a mitigar el efecto del cambio climático, por lo tanto, la evaluación de los aportes por acumulación de biomasa y su dinámica en los ecosistemas son insumos esenciales para las estrategias de adaptación y mitigación. Por otra parte, las actuaciones de restauración permiten reintroducir especies en aquellos sitios desprovistos de vegetación, atributo clave para asegurar la resistencia y aumentar las resiliencia de los componentes genéticos de las especies, con lo cual, la restauración se transforma en un elemento clave entre las estrategias de conservación de especies (Rice y Emery 2003).

Otro atributo importante de la restauración es que logra incorporar elementos clave que favorecen la conectividad de los paisajes, lo que mejora el movimiento potencial de la especies y se amplían las posibilidades de adaptación a los efectos del cambio climático (Opdam y Wascher 2004, Skov y Svenning 2004).

De tal manera se hace necesaria, en el futuro, la implementación de estrategias que conlleven la restauración de la estructura y la función de los ecosistemas en numerosas áreas de tierras degradadas. Lo anterior se constituye en una respuesta importante a la mitigación de los efectos por el cambio climático, ya que las actividades de restauración se constituirán en mecanismos importantes que permitan un equilibrio positivo en la balanza de carbono hemisférico.

Bibliografía

- Barrera, J. y Ríos, H. 2002. Acercamiento a la ecología de la restauración. Pérez-Arbelaezia (13):33-46.
- Bechara, F. 2006. Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga, tesis de doctorado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
- Bechara, F.; Campos, E.; Filho, K.; Barretto, V.; Gabriel, A.; Antunes, A. & Reis, A. 2007. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras de biodiversidade, Revista Brasileira de Biociências, 5:9-11.
- Benayas, J., Bullock, J. and Newton, A. 2008. Creating Woodland Islets to Reconcile Ecological Restoration, Conservation, and Agricultural Land Use, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6:329-336.
- Bradshaw, A. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20:1-17.
- . 1984. Land restoration: now and in the future. Technology lecture. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 223:1-23.
- . 2002. Introduction and Philosophy. pp. 3-9. In: Perrow, M.R. and A.J. Davy (ed.) *Handbook of Ecological Restoration*, vol. 1, Principles of Restoration. Cambridge University Press.
- . 1996. Underlying principles of restoration. In: *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(Suppl. 1): 3-9.
- Brovkin, V. ; Claussen, M.; Driesschaert, E.; Fichefet, T. ; Kicklighter, D.; Loutre, M. F.; Matthews, H. D., Ramankutty; N., Schaeffer, M. and Sokolov, A. 2006. Biogeophysical effects of historical land cover changes simulated by six Earth system models of intermediate complexity. *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-005-0092-6.

- Brown, L. 1981. The conservation of forest islands in áreas of high human density. *African Journal of Ecology* 19: 27-32.
- Ceecon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. CRIM-Ediciones Díaz de Santos. 289 p.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.P.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B. and Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. *Oecologia*. 145:87-99.
- CITES, 2000. Texto de la Convención. Publicado por la Secretaría CITES del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/CITES). Ginebra, Suiza.
- Conservation International. 2004. Conserving Earth's living heritage: A proposed framework for designing biodiversity conservation strategies. Conservation International.
- Convenio de Diversidad Biológica, 2014. <http://www.cbd.int/ecosystem/>, consultado el 06 de julio del 2014.
- DAMA Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente de Bogotá y Fundación Bachaqueros. 2002. Protocolo Distrital de Restauración ecológica. Bogotá. 288 p.
- Dudley, Nigel (ed.) (2008). Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland, Suiza, UICN, 96 p.
- FAO. 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N.º 172. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fonseca, W. Morera, A. 2008. Restauración de Bosques en América Latina. El bosque seco tropical en Costa Rica: Caracterización ecológica y acciones para la restauración. Editores: González, M.; M.; Rey-Benayas, J. y Ramírez, N. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE).
- Freedman, B. 1995. Environmental Ecology. The Ecology effects of Pollution, Disturbance, and other Stresses. 2.ª edición. Academic Press. San Diego, California, EE.UU.
- Guevara, S.; Laborde, J. y Sánchez-Ríos G. 2004. La fragmentación. En: Guevara S., Laborde J. y Sánchez-Ríos G. Eds. Los Tuxtlas: el Paisaje de la Sierra, pp. 111-134, Instituto de Ecología, A.C. y Unión Europea, Xalapa, Veracruz.
- Gulinck, H. and Wagendorp, T. 2002. References for fragmentation analysis of the rural matrix in cultural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 58, 137-146.
- Houghton, R. 1994. The worldwide extent of land-use change. *Bioscience* 44:305-313.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, New York, USA. 996 p.
- Lake, P. S. 2001. On the maturing of restoration: linking ecological research and restoration. *Ecological Management and Restoration* 2(2):110-115.
- Lamd, D. and Gilmour, D. 2003. Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and WWF, Gland, Switzerland. 110 p.
- Laurance, F., Oliveira, A., Laurance, G., Condit, R., Nascimento, M., Sanchez, C., Lovejoy, E., Andrade, E., D'Angelo, S., Ribeiro, E. and Dick, W. 2004. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. *Nature* 428:471-475.
- Machlis, G. E. 1993. Social science and protected area management: The principles of partnership. *George Wright Forum* 10(1):9-20.
- Martínez, E. 1996. La restauración ecológica. *Ciencias* 43:56-59. México.
- MAVDT-CONIF. 2007. Protocolo de Restauración de Coberturas Vegetales afectadas por Incendios Forestales, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corporación Nacional
- MEA (Millenium Ecosystem Assessment), 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio, informe de síntesis. Washington D.C., USA. 43 p.
- _____. 2005. *Ecosystems and Human Well-being*. 4 volumes. Island Press, EE. UU.
- _____. 2005. *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being. Synthesis*. Island Press, Washington D.C.
- Miller, K., Chang, E. y Johnson, N. 2001. En busca de un enfoque común para el Corredor Biológico Mesoamericano. World Resources Institute. Disponible en <http://pdf.wri.org/mesoamerica_spanish.pdf>
- Morera, A. y Scholz, C. 2012. Comportamiento Sucesional de los Bosques Secundarios del Piso Montano Alto en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. III Congreso Latinoamericano de IUFRO (International Union of Forest Reserch Organizations) y CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) "Bosques, Competitividad y Territorios Sostenibles", San José, Costa Rica.

- Murcia, C. y Guariguata, M. 2014. La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Opdam, P. and Wascher, D. 2004. Climate Change Meets Habitat Fragmentation: Linking Landscape and Biogeographical Scale Levels in Research and Conservation. *Biological Conservation*, 117:285-297.
- Orozco, C. y Montagnini, F. 2007. Lluvia de semillas y sus agentes dispersores en plantaciones forestales de nueve especies nativas en parcelas puras y mixtas en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 49-50:131-140.
- Parmesan, C. 2005. Biotic Response: Range and Abundance Changes. In: Lovejoy, T.E.; Hannah, L. ed. *Climate Change and Biodiversity*. Michigan, USA, Yale University Press. 41-55 pp.
- Phillips, O.; Lewis, S.; Baker, T.; Chao, K. y Hihuchi, N. 2008. The changing Amazon forest. *The Royal Society* 363:1819-1827.
- Reis, A.; Bechara, F.; Espindola, M.; Vieira, N. and Sousa, L. 2003. Restoration of damaged land areas: using nucleation to improve sucesional processes. *The Brazilian Journal of Nature Conservation* 1 (1):85-92.
- Rice, K. J. and Emery N. C. 2003. Managing Microevolution: Restoration in the Face of Global Change, *Frontiers in Ecology and Environment*, 1:469-478.
- Rondón, R. & Vidal, R. 2005. Establecimiento de la Cubierta Vegetal en Áreas Degradadas. (Principios y Métodos). *Revista Forestal Latinoamericana* N.º 38/2005. 63-82.
- SER (Society for Ecological Restoration International). 2004 Science & Policy Working Group. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Skov, F. and Svenning, J. 2004. Potential Impact of Climatic Change on the Distribution of Forest Herbs in Europe. *Ecography*, 27:366-380.
- Sultan, S. 2003. Phenotypic plasticity in plants: a case study in ecological development. *Evolution & Development* 5:1 25-33.
- Tres, D. and Reis, A. 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje”, II Simposio Internacional de Restauración Ecológica, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. 11 p.
- Trombulak, S., Omland, K., Robinson, J., Lusk, J., Fleischner, T., Brown, G. and Domroese, M. 2004. Recommended guidelines for conservation literacy from the education

- committee of the Society for Conservation Biology. *Conservation Biology* 18(5): 1180-1190.
- Turner, M. and Corlett, T. 1996. The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution* 11:330-333.
- Vargas, O. 2007. Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Restauración Ecológica. Convenio Interinstitucional Acueducto de Bogotá - Jardín Botánico - Secretaría Distrital de Ambiente. 178 p.
- Vargas, O.; Díaz, J.; Reyes, S. y Gómez, P. 2014. Guías Técnicas Para La Restauración Ecológica de los Ecosistemas de Colombia. Grupo de Restauración Ecológica GRE-UNAL. Convenio de Asociación N° 22. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). y Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN). 136 p.
- Vitousek, P.; Mooney, H.; Lubchenco, J. and Melillo, J. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494-499.
- Walker, L. and Moral, R. 2003. Primary succession and ecosystem rehabilitation. Cambridge.
- Yarranton, A. and Morrison, R. 1974. "Spatial Dynamics of a Primary Succession: Nucleation", *Journal of Ecology*, 62(2):417-428.
- Zahawi, R.; Holl, K.; Cole, R. and Leighton, J. 2013. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology*, 50:88-96.
- Zamora, R., García, P., Gómez, L., 2004. Las interacciones planta-planta y planta-animal en el contexto de la sucesión ecológica, en F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, Madrid, EGRAF.

2. Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas terrestres

Los ecosistemas terrestres están sujetos a diversos factores de estrés ocasionados principalmente por actividades humanas que han provocado cambios sustantivos en las condiciones naturales de sus comunidades (Freedman 1995). En algunos casos, los daños ocasionados al ecosistema son demasiado severos debido a que la o las perturbaciones son demasiado intensas o se prolongan demasiado tiempo, lo que afecta seriamente los procesos sucesionales naturales, y así disminuye la habilidad y posibilidad de recuperarse de forma natural (Bradshaw 1983). Ante este panorama y la necesidad no solo de conservar los ecosistemas naturales hasta hoy existentes, la restauración, la rehabilitación y la recuperación de los ecosistemas degradados se presentan como herramientas estratégicas para contribuir a la mejora del medioambiente local, regional y global.

Los diferentes enfoques sobre restauración han logrado desarrollar estrategias para controlar, mitigar o revertir los efectos de la degradación en los ecosistemas, entre ellas se encuentran la restauración, la rehabilitación, el saneamiento, el reemplazo y el recubrimiento vegetal (Martínez 1996, Bradshaw 2002). A continuación se plantean una serie de estrategias con el fin de contribuir a la restauración de los ecosistemas terrestres.

2.1 Estrategias de restauración en áreas naturales protegidas

Las áreas naturales protegidas son esenciales para la conservación in situ de la biodiversidad y, permiten en conjunto con sus entornos biofísicos y ambientales, mantener las especies bajo condiciones naturales de su ecosistema. La mayoría de las áreas protegidas han sido seleccionadas en sitios que representan ecosistemas naturales o casi naturales y otras presentan procesos naturales o inducidos con el fin de recuperar dicha condición. Un conjunto de áreas protegidas contiene rasgos biológicos de relevancia que justifican su selección,

otras permiten documentar las interrelaciones entre las actividades humanas y la naturaleza en los paisajes culturales.

Las categorías de gestión de las áreas protegidas de la UICN constituyen un marco internacional de referencia, reconocido por el Convenio sobre la Diversidad Biológica para categorizar la variedad de modos de gestión de las áreas protegidas. Según Dudley (2008) la definición de la UICN de un área protegida es: *Un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados*. Las estrategias nacionales e internacionales, en la mayoría de los países, fundamentan sus acciones de conservación de la biodiversidad y la gestión de las áreas protegidas como refugios para las especies que mantienen procesos ecológicos fundamentales incapaces de sostenerse en ambientes con altos niveles de intervención humana.

La UICN promueve que las áreas protegidas deben buscar un enfoque mucho más amplio de conservación y uso del suelo y del agua (Dudley 2008), y el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), resalta que las estrategias de conservación deben ir dirigidas a escalas más amplias que reciben diversas denominaciones: “enfoques a escala de paisaje”, “enfoques bioregionales” o “enfoques ecosistémicos” (CDB 2014). El enfoque de ecosistema constituye un marco más amplio para la planificación y el desarrollo de la conservación y permite ver los recursos naturales de una forma más integral. Dentro del contexto de áreas protegidas este concepto puede volverse un instrumento como estrategia de gestión. El Convenio de Diversidad Biológica, define el enfoque de ecosistema como: *una estrategia para la gestión integrada de los recursos terrestres, acuáticos y vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de forma equitativa* (CDB 2014) y el punto “f” del artículo 8 establece que cada parte adscrita al convenio: *Rehabilitará y restaurará ecosistemas degradados y promoverá la recuperación de especies amenazadas, entre otras cosas mediante la elaboración y la aplicación de planes u otras estrategias de ordenación* (CDB 1994). De tal forma que en todas aquellas acciones que esté asociada la gestión de las áreas protegidas, se debe involucrar la restauración de los ecosistemas degradados, comprometer a las poblaciones subyacentes en la toma de decisiones y la ejecución de los planes para empoderarlas sobre la áreas protegidas de su entorno. De esta manera, las acciones dirigidas a restaurar las condiciones naturales de los ecosistemas degradados inmersos en un área protegida, permitirá devolverle su función e integridad ecológica más afín al ecosistema histórico nativo o estructura ecológica más adaptada a los espacios naturales que ellas conservan.

Cuadro 1. Las categorías de manejo de áreas protegidas de la UICN según Dudley (2008)

Categoría	Objetivo principal de manejo
Ia Reserva natural estricta	Ciencia
Ib Área silvestre	Protección de vida silvestre
II Parque nacional	Protección de ecosistemas y recreación

Categoría	Objetivo principal de manejo
III Monumento o característica natural	Conservación de rasgos naturales específicos
IV Área de gestión de hábitats/especies	Manejo de ecosistemas y especies
V Paisaje terrestre/marino protegido	Protección de paisajes y recreación
VI Área protegida con uso sostenible de los recursos naturales	Uso sostenible

Fuente: Nigel Dudley (2008).

El objetivo fundamental de un sistema de áreas protegidas es mejorar los mecanismos que permitan eficazmente la conservación de la biodiversidad in situ. Dado que en muchos casos los ecosistemas seleccionados presentan diferentes grados de deterioro, se requiere de la implementación de diferentes estrategias de restauración que permitan el retorno de sus condiciones bióticas y abióticas más cercanas a su ecosistema natural o estructura ecológica más adaptada a su entorno natural.

2.1.1 Áreas protegidas categorías de UICN, Ia, Ib, II y III

Los objetivos primarios de conservación de las categorías Ia, Ib, II y III se centran en conservar los ecosistemas, las especies, los rasgos de biodiversidad sobresalientes, proteger la integridad ecológica a largo plazo, proteger la biodiversidad natural junto con su estructura ecológica subyacente y proteger los rasgos naturales específicos sobresalientes en conjunto con su biodiversidad y hábitats asociados. Es decir, que las acciones de restauración deberán estar dirigidas a mantener sus funciones fundamentales que rigen y respetan las principales directrices que determinan la asignación de su categoría.

Una de las principales limitantes de los paisajes inmersos en las áreas protegidas, es su grado de fragmentación. El constante cambio que están sufriendo los ecosistemas terrestres está provocando una profunda destrucción y degradación de los hábitats naturales, por lo que sus implicaciones para la conservación de la diversidad biológica y la sostenibilidad de los recursos naturales tienen importancia global. Esta degradación del ambiente natural no es un fenómeno nuevo, lo que produce gran alarma es la rapidez y la escala global con que se produce el cambio (Brown 1981, Houghton 1994).

Se transforma entonces en una meta esencial para los profesionales encargados de la gestión de las áreas protegidas, comprender las consecuencias del cambio de hábitat y desarrollar estrategias eficaces que permitan, por un lado, mantener la biodiversidad y, por otro, recuperar aquellos hábitats en paisajes.

2.1.1.1 Objetivos de la restauración en las categorías de áreas protegidas de UICN, Ia, Ib, y III

- Aumentar los espacios disponibles entre paisajes como un medio que favorezca el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos que contemplan el área protegida.

- Acelerar los procesos sucesionales que permitan una mayor integración de la biodiversidad en etapas más tempranas.
- Mejorar las condiciones de estructura ecológica en el hábitat para favorecer el intercambio genético entre las poblaciones de la especie.
- Recuperar los rasgos funcionales del hábitat que permitan mantener sus funciones fundamentales.
- Mejorar la conectividad entre fragmentos con el propósito de conformar corredores biológicos como un medio de favorecer la estabilidad de los ecosistemas protegidos.
- Promover los mecanismos que fomenten la protección de los procesos ecológicos y rasgos naturales (monumentos) a través de la restauración de sus paisajes degradados.
- Proveer una mayor integridad ecológica en los servicios ecosistémicos de las áreas protegidas como un medio para favorecer la visita de los sitios como beneficio para las poblaciones en su entorno.

2.1.1.2 Selección de los sitios por restaurar

El carácter dinámico de los ecosistemas inmersos en un área protegida está muy relacionado con el régimen de disturbios naturales y/o antrópicos que han sufrido a través del tiempo. Por lo tanto, las acciones de restauración deberán centrarse en aquellos ecosistemas que requieran acciones inmediatas de refuerzo para acelerar los procesos naturales de regeneración. Entre los aspectos a considerar para la selección de los sitios en las áreas protegidas son:

- El área protegida presenta relictos o una composición de fragmentos del ecosistema original y las distancias de dispersión son largas.
- Los patrones y estructura en cuanto a número, forma y tamaño de los fragmentos es deficiente.
- Existen una baja conectividad de fragmentos y el área protegida esta principalmente formada por islas de vegetación.
- El uso anterior estuvo principalmente asociados a grandes extensiones de pastizales o praderas, cultivos anuales con rotaciones de varios años o mantuvieron un área de cultivos permanentes, lo que dificulta y retrasa sus procesos naturales de regeneración.
- La tasa de dispersión por el aporte de las principales especies animales o vegetales es baja, lo cual dificulta autoregeneración de los componentes y la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Entre las principales características que se pueden observar, medir y registrar rápidamente en el campo se encuentran: el rango altitudinal, las coordenadas geográficas, la pendiente, la composición del relieve, las principales coberturas vegetales de los fragmentos circundantes, los tipos de denudación del suelo, la recopilación de los antecedentes de las actividades productivas que se desarrollaron en el área (usos del suelo), los agentes causantes del disturbio y las vías de acceso principales y secundarias.

2.1.1.3 Técnica de implementación

a) Sucesión asistida a través de técnicas de nucleación

a. Perchas artificiales

Esta técnica utiliza trozos de madera (postes, ramas, varas de bambú, entre otros) que sirven de perchas para aves y murciélagos lo cual permite que a través de sus excretas se trasladen las semillas de los fragmentos permanentes hacia los sitios que se desean restaurar. La característica más importante de las perchas artificiales es su bajo costo y practicidad, asociado a una eficiencia comprobada por diversos estudios. De acuerdo con (Reis et ál. 2003, Bechara 2006 y Espíndola et ál. 2007) citado por Ceecon (2013) algunos modelos de perchas artificiales más conocidos son:

- Perchas artificiales en cruz.
- Perchas secas (en forma de ramas).
- Perchas naturales (ramas secas).
- Perchas vivas (postes con lianas plantadas en la base).
- Percha de cable aéreo (cables conectados entre fragmentos, árboles o postes de cerca pasando sobre las áreas degradadas).
- Torre de lianas (tres postes apoyados uno en el otro en forma de pirámide con lianas plantadas a sus pies).
- Torres de bambú (tres varas de bambú con sus ramas vivas).
- Percha de árbol muerto.

Se pueden distribuir entre 10 a 30 perchas por hectárea, con la posibilidad de utilizar una combinación de los diferentes tipos, asociado más con los recursos que se logre encontrar en los sitios. Su distancia variará entre 18 a 32 metros entre perchas. La cantidad debe estar relacionada con la disponibilidad de recursos, en algunos casos se pueden sembrar estacas vivas, lo que permitirá no solo aportar la percha a las aves, sino que con el crecimiento de la planta se aportará biomasa al suelo y sombra. Su distribución puede ser al azar o en forma sistemática, esto dependerá de la conectividad con los paisajes aledaños.

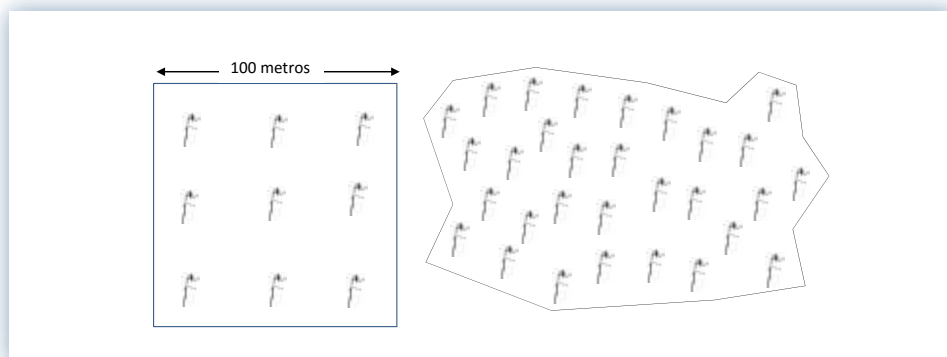


Figura 1. Distribución de perchas para una hectárea de área por restaurar.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

b. Siembra directa de semillas

Consiste en la introducción de semillas de especies arbóreas directamente en el área a ser restaurada, en núcleos que permitan la regeneración asistida. Se recomienda en aquellos casos donde existe un bajo potencial por lluvia de semillas, presencia de pocos diseminadores, terrenos con una fisiografía difícil y con suelos bastante disturbados. Se recomienda utilizar semillas de 12 a 16 especies y como mínimo de cuatro individuos por especie y que estén separados entre sí. Estas semillas pueden ser colectadas en los ecosistemas aledaños y deben ser de especies helófitas efímeras de porte arbustivo y arbóreo principalmente, ya que lo que se pretende activar son los procesos de sucesión natural. Las semillas de las especies a seleccionar deben presentar altos porcentajes de germinación, principalmente de especies colonizadoras de rápido crecimiento, adaptables a condiciones de suelos deficientes, resistencia a la sequía y que puedan ofrecer atributos ecológicos a la fauna local.

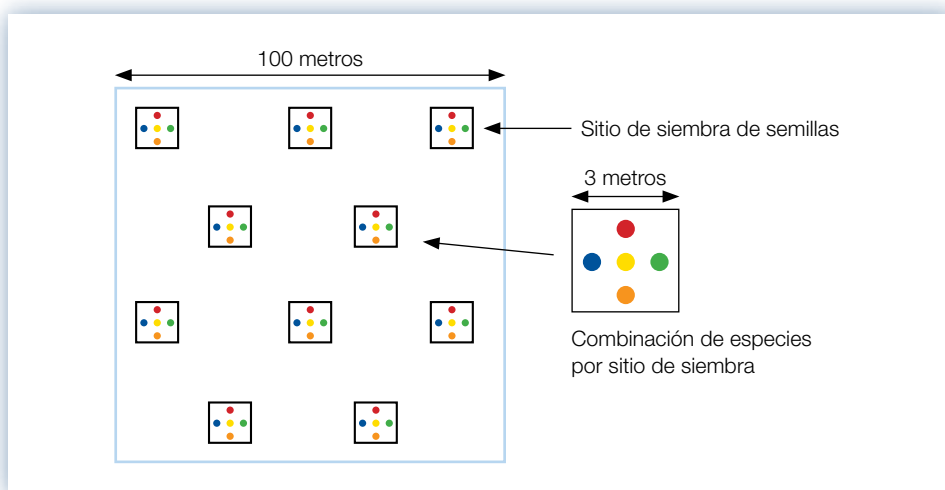


Figura 2. Distribución de los sitios de siembra de las semillas, en cada sitio se siembran tres a cinco semillas en cinco huecos para una hectárea por restaurar.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

c. Siembra de plantas de especies funcionales en grupos de Anderson

La siembra de árboles en grupos de Anderson (Anderson 1953) es una técnica que busca incrementar la diversidad interna de los fragmentos desprovistos de vegetación en las áreas de restauración. Uno de los principios de esta técnica es la calidad del material genético introducido, ya que se trata de mantener especies llaves que permiten formar núcleos de regeneración de cinco individuos. Se recomienda una combinación de especies de los distintos grupos ecológicos por punto de siembra para facilitar las interacciones ecológicas y equilibrar la competencia. Se pueden utilizar entre cinco a un máximo de nueve grupos por hectárea. Los núcleos deben representar una significativa variabilidad genética, capaces de formar una población mínima viable en las áreas de formación y combinarse entre sí. Esta opción garantiza, que en un futuro próximo, las progenies favorezcan una dinámica local de flujos biológicos.

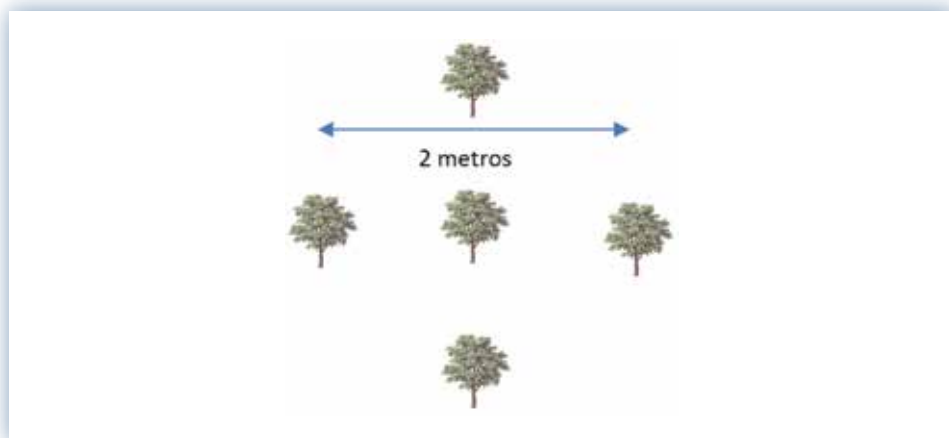


Figura 3. Distribución de las plántulas en la técnica de siembra en grupos de Anderson (Anderson 1953).

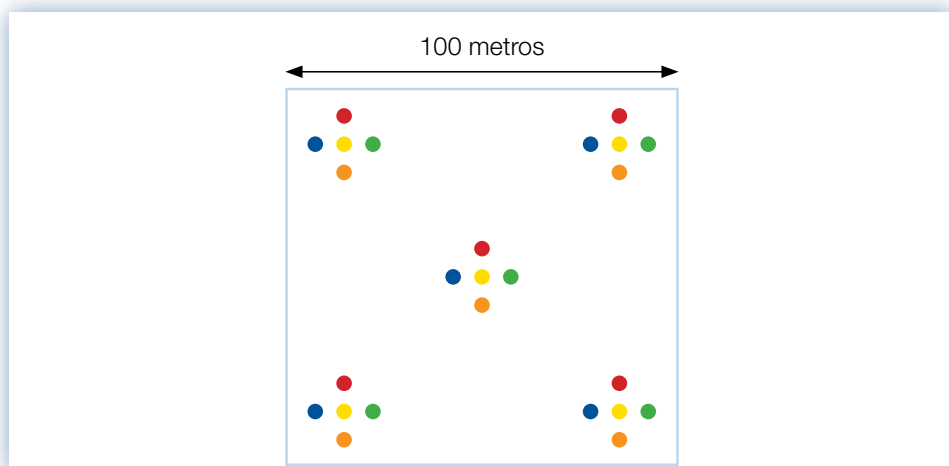


Figura 4. Conformación del sistema de siembra de plántulas. Los colores corresponden a árboles de especies diferentes para una hectárea por restaurar. Modificación basada en el sistema de grupos de Anderson (Anderson 1953).

d. Transposición de suelos

Esta técnica tiene como objetivo restablecer proporciones del suelo y es uno de los componentes más importantes en los ecosistemas que favorece la regeneración que se busca. Consiste en obtener una capa superficial del horizonte orgánico del suelo (entre 5 a 10 cm), compuesta por hojarasca, materia orgánica en descomposición y los microorganismos que lo conforman. Este suelo se obtiene de aquellos sitios cercanos con estado intermedio de sucesión para potenciar la presencia de semillas de especies colonizadoras. El suelo colectado debe ser depositado, en los sitios seleccionados, en huecos contruidos para este propósito aproximadamente de 40 x 40 cm y de 10 cm de profundidad, a razón de ocho sitios por hectárea.



Figura 5. Transporte del suelo al sitio por restaurar con micro y macro organismos que facilita la colonización. A. Esquema de colecta, tomado de Reis et ál. (2003). B. Muestra de campo para transposición de suelos.

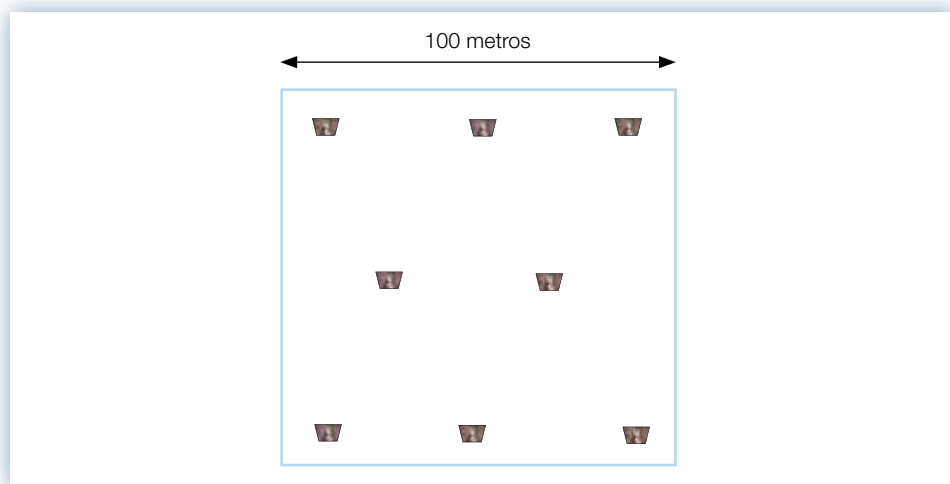


Figura 6. Distribución de los sitios de transposición de suelos en una hectárea por restaurar.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

e. Formación de refugios artificiales (madrigueras)

Dado que en áreas abiertas se da una alta exposición de los animales a sus predadores, con la construcción de refugios artificiales (madrigueras) se busca ofrecer un abrigo seguro para la fauna y así aumentar la frecuencia y permanencia de visitantes en las áreas por restaurar (roedores, reptiles, anfibios, etc.) (Reis et ál. 2003). La tendencia es que estos animales, en corto y mediano plazo, faciliten la llegada de semillas de los fragmentos adyacentes, lo cual contribuirá a la sucesión y mejoramiento de la conectividad local. Estas galerías se realizan con restos de troncos, piedras y ramas. Su densidad dependerá de los tamaños de fragmentos y se pueden construir a razón de cinco madrigueras por hectárea. La ubicación de las madrigueras debería ir inducida a sitios donde estos animales colonizan con mayor facilidad, como zonas cercanas a riberas de ríos, espacios entre fragmentos de bosque y sitios de ladera donde existan condiciones de protección.



Figura 7. Construcción de refugios artificiales.

Fuente: Reis et ál. 2003.

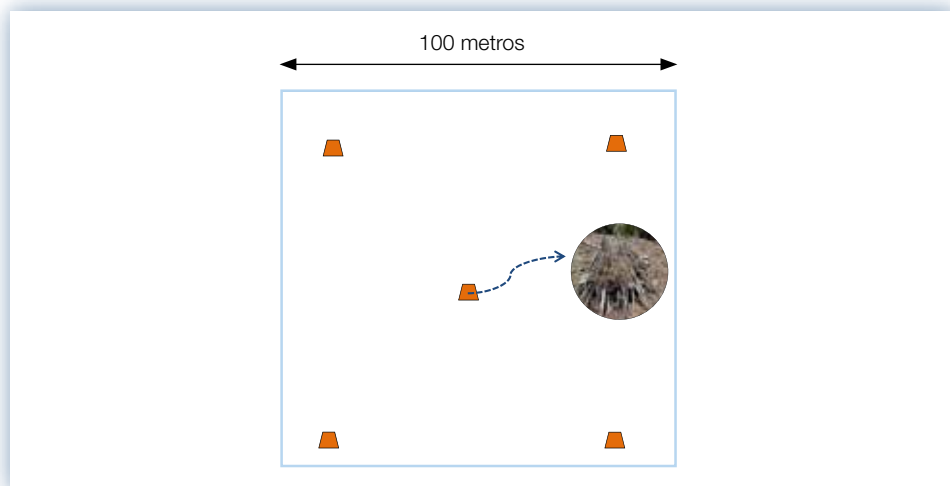


Figura 8. Distribución de los refugios artificiales para una hectárea del sitio por restaurar.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.



Figura 9. Construcción de refugios artificiales a partir de restos de madera de zonas aledañas del área por restaurar.

f. Lluvia de semillas por transposición o búsqueda en otras fuentes

Esta técnica consiste en facilitar el proceso de regeneración a través de la transposición e introducción de semillas. La regeneración de especies está principalmente influenciada por la lluvia de semillas por caída libre, por dispersión de semillas a través de los vertebrados y el viento (Orozco y Montagnini 2007). En muchas ocasiones los procesos sucesionales toman mucho tiempo por la falta de estos componentes. Para la implementación de esta técnica, las semillas se pueden coleccionar en fragmentos aledaños a los sitios por restaurar, lo que sería una *transposición por lluvia de semillas* o se coleccionan en otros sitios alternos que presentan ecosistemas muy similares al que se quiere restaurar, lo que sería una *introducción por lluvia de semillas*. Esta técnica posibilita la introducción de nuevas especies de áreas vecinas o ecosistemas referencia, lo cual promueve un efectivo flujo genético y facilita el proceso de sucesión a través de la conectividad de fragmentos en el área degradada (Reis et al. 2003).

Una de las desventajas de este tipo de técnica es que muchas de las semillas que se liberan en la zona por restaurar no llegan a formar plántulas debido a diferentes problemas: las semillas no logran germinar, son consumidas por algunos depredadores, el sustrato no permite la imbibición, las plántulas mueren en etapa temprana por falta de nutrientes o por déficit de agua o la selección de las semillas no son las idóneas para las etapas iniciales de la sucesión.

Para el caso de transposición por lluvia de semillas, se colocan trampas (Figura 10) en sitios de fragmentos aledaños al área por restaurar con diferentes estados sucesionales, e inclusive, en sitios de bosques primarios con el fin de coleccionar una variada diversidad de especies y con una buena base genética. El número de colectas (trampas) dependerá del área por restaurar y se debe lograr coleccionar suficientes semillas para distribuir las en los sitios deseados (no menos de 16 trampas por efecto de variabilidad genética). Las colectas se recogen cada mes y son trasladadas al sitio por restaurar donde serán esparcidas al voleo, procurando realizar una distribución homogénea.

En el caso de introducción de semillas, deben ser coleccionadas en otros ecosistemas o pueden ser coleccionadas en árboles previamente identificados con un control fenológico que permita conocer los períodos de cosecha; muy importante para este último caso es que se debe evitar tener semillas de un solo árbol por especie, se recomienda tener entre 12 a 16 árboles y que estén en sitios alejados entre sí para evitar el intercambio genético entre ellos.

Es recomendable conocer los medios de polinización de la especie y definir una distancia mínima entre árboles, como base, se puede tomar una distancia mínima de 1 km entre individuos. Una vez que se tienen las semillas, igualmente serán distribuidas por la técnica de voleo. Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta, es realizar el esparcido de semillas en períodos de disponibilidad de lluvias y evitar aquellos días muy soleados. Esparcir las semillas siempre al final de la tarde, así se evita que sufran estrés por desecación al exponerse al sol directo, además se debe buscar distribuir las semillas con ayuda del viento.



A

B

Figura 10. Trampa de semillas para colecta en fragmentos de bosques secundarios y primarios, A. Esquema de colecta, tomado de Bechara (2005). B. Muestra de campo para colecta de semillas.

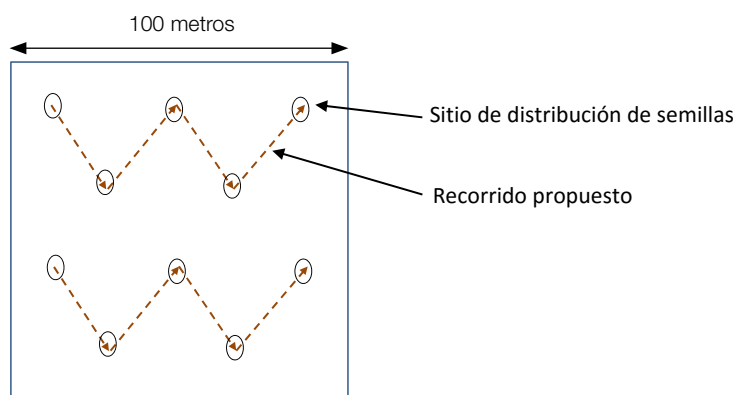


Figura 11. Esquema para el recorrido y la distribución por lluvia de semillas para una hectárea de área por restaurar.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

g. Combinación de las técnicas de nucleación

Para las áreas grandes que se requieren restaurar, es recomendable combinar las técnicas de nucleación, lo cual permite promover todos los componentes que cada una de las técnicas favorece y así, acelerar los procesos de sucesión natural, fomentar la funcionalidad y potenciar el éxito. La propuesta del Cuadro 2, es para 10 hectáreas, se puede realizar una combinación de las técnicas para áreas más pequeñas, solo se debe mantener su proporción.

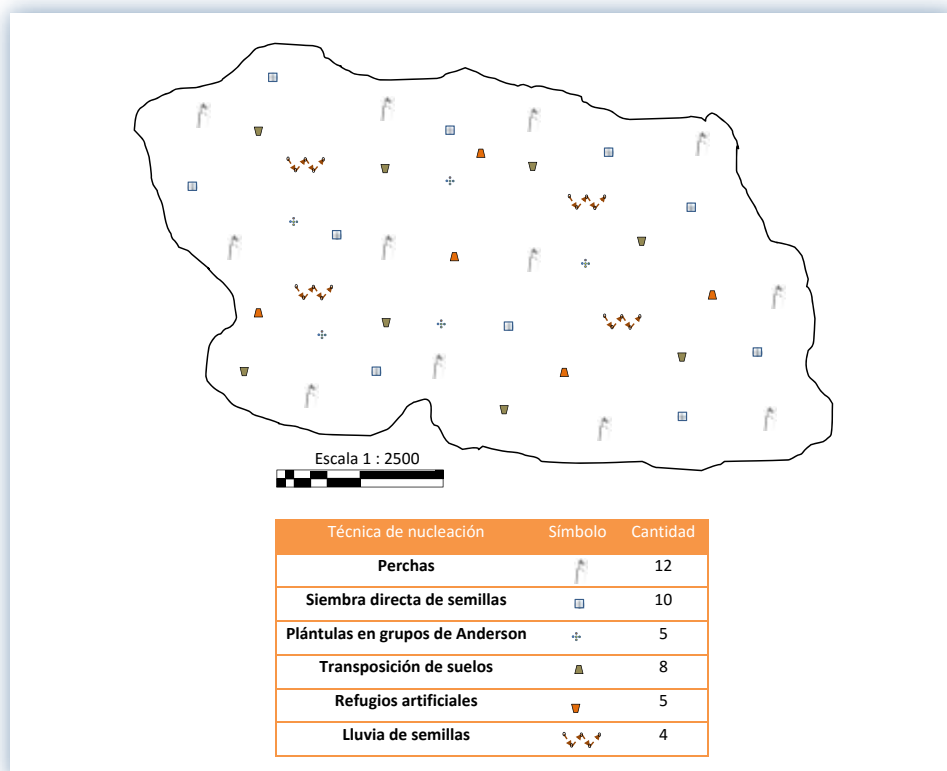


Figura 12. Diagrama de las técnicas de nucleación por combinar para un área de 10 hectáreas.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.1.2. Áreas protegidas categorías de UICN, IV, V, VI y zonas de amortiguamiento

Las funciones principales de estas categorías de protección en conjunto con las zonas de amortiguamiento van dirigidas a mantener, conservar y restaurar especies y hábitats que permitan proteger y sostener paisajes terrestres y marinos de los ecosistemas naturales. Las acciones de conservación y restauración pueden ir acompañadas de estrategias de manejo y un uso sostenible de sus recursos, a través de la promoción de una mejor distribución y equidad de los beneficios que generan.

A continuación se describirán algunas acciones de restauración que se podrán implementar en las áreas protegidas categorías UICN IV, V y VI en conjunto con las zonas de amortiguamiento. Dichas estrategias deberán respetar los principios que rige la asignación de la categoría de manejo y buscarán integrar mecanismos que permitan involucrar a las poblaciones locales en la toma de decisiones y la ejecución de los planes propuestos.

2.1.2.1 Objetivos de la restauración en las categorías de áreas protegidas de UICN, IV, V, VI y zonas de amortiguamiento

- Mejorar la calidad de los hábitats para la fauna al aumentar la cobertura nativa e incrementar la conectividad de los elementos del paisaje rural a través de la restauración de sus ecosistemas.
- Aumentar la representatividad de los paisajes rurales de los ecosistemas en las áreas protegidas.
- Incrementar la supervivencia de especies o poblaciones a través de la recuperación de sus hábitats.
- Mitigar las influencias de las zonas aledañas a las áreas protegidas a través de la implementación de acciones de restauración en las zonas de amortiguamiento.
- Aumentar la representatividad de paisajes como un medio que favorezca el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos que contemplan el área protegida.
- Implementar acciones que permitan acelerar los procesos de regeneración natural con el fin de tener una mayor integración de la biodiversidad en etapas sucesionales más tempranas.
- Mejorar la conectividad entre fragmentos con el propósito de conformar corredores biológicos como un medio de favorecer la estabilidad de los ecosistemas protegidos.
- Proveer una mayor integridad ecológica en los servicios ecosistémicos de las áreas protegidas como un medio de favorecer la visitación a los sitios y que se puedan beneficiar las poblaciones locales.
- Garantizar la supervivencia de los ecosistemas que conforman las áreas protegidas al régimen de perturbaciones naturales y las influencias antrópicas de sus zonas de influencia.

2.1.2.2 Selección de los sitios por restaurar

En las áreas protegidas la vegetación es uno de los componentes principales que conforman la matriz estructural y funcional de los ecosistemas terrestres, pero de igual importancia son las especies de fauna presentes en estos ecosistemas. De esta manera, los aportes que se logren con acciones de restauración será un proceso clave que permita reconstruir aquellas áreas degradadas que no solo favorecerá la renovación de la vegetación, sino que también permitirá enlaces de conectividad para el flujo de vertebrados e invertebrados entre los fragmentos que conforman los paisajes rurales. Además se debe considerar que las acciones de restauración producirán bienes y servicios para la sociedad y a través de una estrategia de integración social se podrán satisfacer necesidades de las poblaciones de influencia en las zonas de amortiguamiento.

Dado que una de las funciones principales de las áreas protegidas es la conservación in situ de la biodiversidad, las estrategias de restauración están dirigidas a restituir la funcionalidad

y los componentes estructurales más afines a los ecosistemas naturales. En el caso de las zonas de amortiguamiento, como áreas adyacentes a los límites de las áreas naturales protegidas y espacios de transición entre las zonas protegidas y el entorno, tendrán la función de minimizar las repercusiones de las actividades humanas, de tal manera que las acciones de restauración deberán estar asociadas a estrategias que permitan un manejo integral y que garanticen los objetivos que rigen la directrices de conservación de las áreas protegidas. Para decidir la estrategia para implementar entre las áreas protegidas y la zona de amortiguamiento, se pueden basar en el diagrama de la Figura 13.



Figura 13. Diagrama de acciones de restauración para implementar en áreas protegidas categorías UICN, IV, V, VI y zonas de amortiguamiento.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

La restauración pasiva es una de las estrategias naturales de recuperación de ecosistemas que depende no solo del grado de las intervenciones, sino que depende de la vegetación original y la presencia de remanentes de bosques que permitan un adecuado flujo genético, base de los procesos sucesionales. Uno de los resultados más notorios de los cambios de uso del suelo corresponde a la fragmentación del paisaje, entendido como la desintegración de los patrones geográficos existentes por la introducción de nuevos elementos o estructuras de forma que los procesos y funciones del paisaje se ven interrumpidos (Gulinck y Wagendorp 2002).

La selección de sitios potenciales o con necesidades de restauración en las áreas protegidas deberá estar muy ligada con las necesidades de reforzar los procesos sucesionales y de favorecer la conectividad entre fragmentos con proyectos dirigidos a la restauración de paisajes. En el caso de las zonas de amortiguamiento, los sitios prioritarios serán

principalmente aquellos desprovistos de vegetación y que presentan un alto grado de fragmentación, muy asociadas a bienes y servicios de los propietarios de estas tierras. Por consiguiente, la elección de un área destinada a restauración no solo deberá pasar por una priorización técnica, sino que deberá ajustarse a las necesidades de las poblaciones locales y obedecer a las estrategias globales de conservación y a las políticas en la gestión de las áreas protegidas.

2.1.2.3 Técnicas de implementación

a) Restauración ecológica

Son muchos los grados de alteración que se pueden encontrar al seleccionar un área por restaurar, de tal manera que existen una gran variedad de factores, tanto naturales como sociales que hacen que cada sitio sea único y que las estrategias para restaurar sean diferentes. El objetivo principal de la restauración ecológica será devolverle los atributos ecológicos más cercanos al ecosistema original y/o similar en aquellos casos donde se considere un ecosistema referencia como patrón de comparación. Pero es muy importante considerar que el éxito de la restauración dependerá también de los costos, de las fuentes de financiamiento y de la voluntad política de las instituciones interesadas en la restauración, pero ante todo, de la colaboración y participación de las comunidades locales en los proyectos de restauración.

Las acciones de restauración ecológica que se implementen en las áreas protegidas categorías UICN IV, V y VI y en aquellas zonas de amortiguamiento como sitios estratégicos de conectividad de paisajes, deberán buscar la reintegración de los ecosistemas fragmentados con una visión de ecosistema a escala de paisaje, puesto que se requiere aumentar los flujos de organismos, materia y energía, entre las diferentes unidades del paisaje (SER 2004).

La Figura 14 presenta una propuesta con la secuencia de pasos por seguir para implementar las acciones de restauración ecológica. Una vez seleccionada el área por restaurar se requiere realizar una evaluación del sitio que permita valorar el potencial de restauración en cuanto a parámetros como: conectividad, estado de la regeneración, presencia de árboles maduros en la masa remanente, accesibilidad al sitio, pero igualmente, se debe tener claridad en la fuente de los recursos económicos necesarios para la implementación del proyecto. Como un paso fundamental en la ejecución del proyecto se requiere ejercer un control sobre los agentes causantes de la degradación, ya que no se podrán implementar acciones si el ecosistema se sigue deteriorando.

1. Selección de especies y medios de reproducción

Para las acciones de implementación se deberán utilizar una combinación de especies de un temperamento variado en cuanto tasa fotosintética, crecimiento y necesidades de luz. Como estrategia inicial se deberán utilizar especies heliofitas efímeras de porte arbustivo (entre 3 a 4 metros) que tengan una alta productividad de semillas en etapas tempranas y que puedan ofrecer recursos alimenticios a la fauna local (frutos, hojas, semillas). Asimismo se debe agregar, en

el ensamble de siembra, especies heliófitas efímeras de porte arbóreo en conjunto con especies de heliófitas durables y especies esciófitas. Lamd y Gilmour (2003) mencionan que a través de la introducción de una proporción de especies (sucesión asistida) se puede lograr restablecer un conjunto de funciones ecológicas de los ecosistemas (Figura 15).

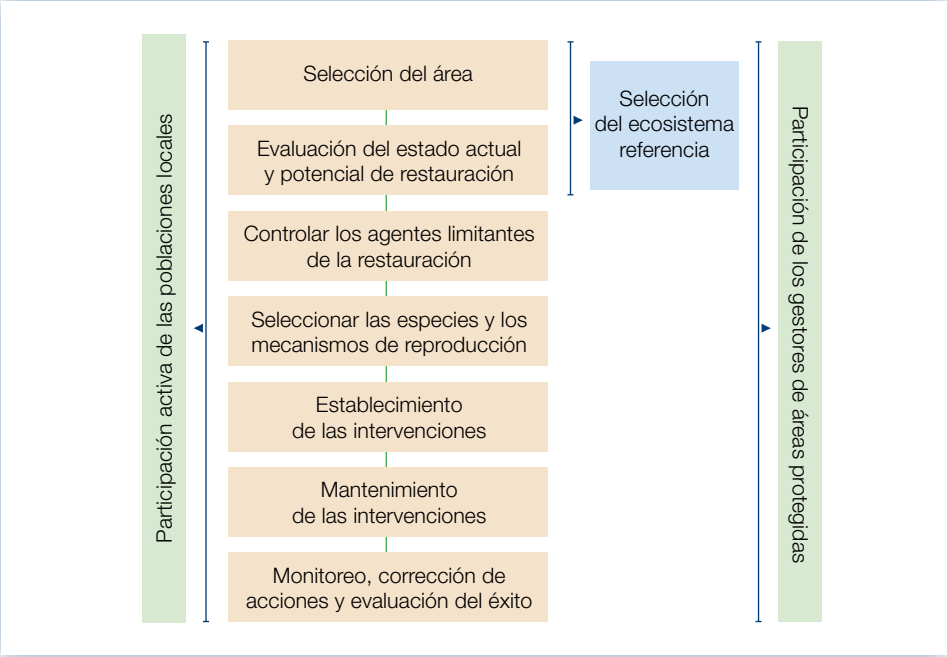


Figura 14. Diagrama con la secuencia y relaciones de los pasos por seguir para implementar acciones de restauración ecológica en áreas protegidas, diseño basado en Vargas (2007) y modificado por los autores.

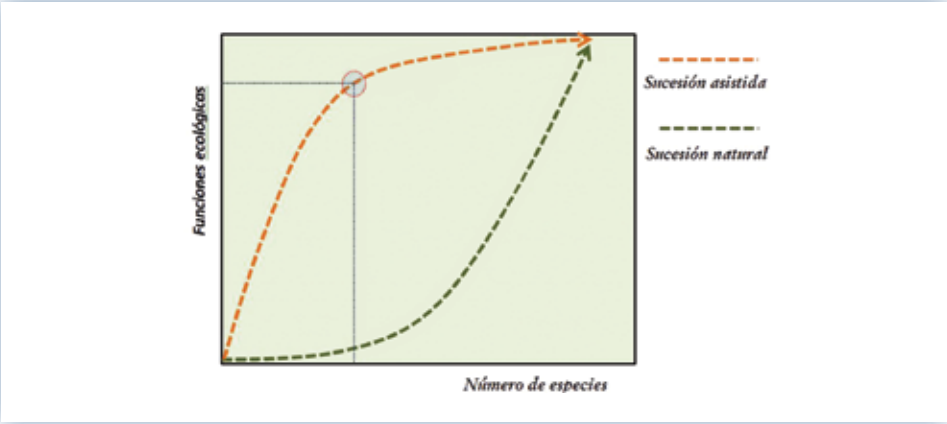


Figura 15. Relación entre el número de especies y las funciones ecológicas, entre un ecosistema con sucesión natural y sucesión asistida por procesos de restauración activa (modificado de Lamd y Gilmour 2003).

Cuadro 2. Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar

Área (ha)	Heliofita efímera (arbustiva)	Heliofita efímera (porte arbóreo)	Heliofita durable	Esciófita	Total (especies)
1-3	2-4	4-6	4-6	2-4	12-16
3-10	3-5	5-8	6-10	4-6	16-24
> 10	4-6	8-10	10-12	6-8	24-32

En el caso de restauración ecológica se recomienda que los gestores del proyecto elijan las especies que se utilizarán en función de los estudios del ecosistema referencia. Para esto se pueden seleccionar árboles que se les puede coleccionar semillas, procurar siempre seleccionar varios árboles semilleros, por especie, para aumentar la variabilidad genética. Una vez que se obtengan las semillas, pueden reproducirse en un pequeño vivero en un área cercana al sitio por restaurar. Otro medio para obtener el material sería buscar plántulas en los fragmentos de bosque remanente, en la época de fructificación pueden encontrarse con facilidad en la base y alrededores de árboles productivos. Estas plantas se pueden trasladar al vivero para realizar el proceso de adaptación y posteriormente trasladarse al sitio de plantación.



Figura 16. Plántulas germinadas en un fragmento de bosque húmedo tropical.

2. Establecimiento en campo

Para la siembra en campo se debe utilizar un sistema de tresbolillo (pata de gallina) con un distanciamiento de 3,5 x 3,5 metros, lo que nos da una cantidad total para sembrar por hectárea de 942 individuos. La distribución por grupo ecológico se basa en el Cuadro 3 y la distribución en campo se puede hacer de acuerdo con el esquema de la Figura 17 que representa un área de 1 800 m², se deben de distribuir las plantas en campo de tal manera que se reparta la demanda de luz por cada gremio ecológico y que se favorezca el cierre del dosel.

Cuadro 3. Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada gremio ecológico en relación con su diagrama de siembra

Gremio ecológico	Individuos por hectárea	Individuos 1 800 m ²
Heliofita efímera (arbustiva)	444	80
Heliofita efímera (porte arbóreo)	166	30
Heliofita durable	166	30
Esciófita	166	30
Total	942	120

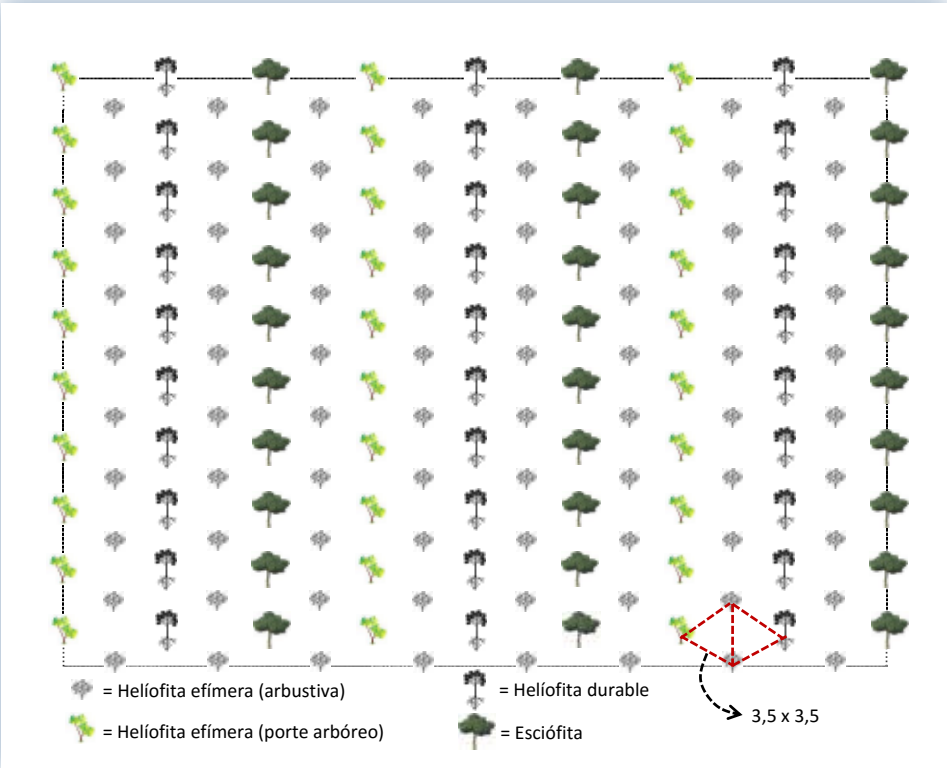


Figura 17. Diagrama de siembra sugerido para un área de 1 800 m² (51,5 x 36,75 metros) con un distanciamiento de 3,5 x 3,5 metros en el sistema de siembra tresbolillo de restauración ecológica.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

b) Rehabilitación

Las acciones de rehabilitación deben ser dirigidas a las áreas degradadas donde las opciones de recuperación por regeneración espontánea de especies de árboles y arbustos están severamente limitadas. Desde el enfoque de la SER (2004), la rehabilitación pone un énfasis mayor en la reparación de los procesos ecológicos, la productividad y los servicios de un ecosistema mas que en el restablecimiento de la integridad biótica preexistente definida

en términos de la composición de especies y la estructura de una comunidad biológica. De esta manera, el uso de especies exóticas y el manejo integral de los ecosistemas por acciones humanas a través de agrosistemas, son gestiones que se pueden integrar en un plan de rehabilitación.

Los planes de rehabilitación que se implementen en las áreas protegidas categorías UICN IV, V y VI y en aquellas zonas de amortiguamiento, podrán incluir dentro del marco legal de las políticas de manejo, acciones de rehabilitación a escala productiva y se pueden introducir especies que permitan dar aportes económicos a los dueños de áreas en zonas de amortiguamiento y que no presenten características de especies invasoras para evitar la alteración de los ecosistemas de las áreas protegidas circunvecinas. El proceso de rehabilitación en áreas protegidas buscará, principalmente, establecer ensambles de paisaje con el fin de favorecer el flujo de vertebrados e invertebrados.

1. Selección de especies y medios de reproducción

La selección de la especie es un paso fundamental en todo proyecto de restauración, pero no existe una receta única que permita definir la más adecuada para el proyecto. El propósito principal es elegir un número adecuado de especies con el fin de que los recursos disponibles (agua, luz y nutrientes) puedan ser utilizados de la manera más eficiente y que la degradación sea absorbida o asimilada por el conjunto de especies que se establecen. En este sentido, la plantación de árboles nativos o de especies pioneras dominantes y de importancia ecológica puede iniciar una rehabilitación. El uso de especies dinamogenéticas puede ser una herramienta de aplicación en la selección de especies pues construyen la mayor parte de la masa de la vegetación, tienen mayor cobertura y capacidad para promover el avance de la sucesión (DAMA 2002). A través de la observación de las distintas especies que conforman el paisaje local, en distintas etapas de regeneración natural, se pueden identificar especies de utilidad y con un alto potencial de uso en las acciones de restauración. Aquellas especies que presentan mayor abundancia y tienden a formar núcleos de regeneración, lo que le permite contribuir significativamente a la construcción estructural de la vegetación, son uno de los rasgos fundamentales de las especies dinamogenéticas.

De acuerdo con Rondón y Vidal (2005) entre las características morfológicas y ecofisiológicas de las especies a tomar en cuenta se puede considerar:

- Follaje grande y fuerte.
- Propagación sencilla y rápida.
- Sistema radicular profundo.
- Rápido crecimiento.
- Resistencia contra la sedimentación.
- Preferiblemente especies autóctonas.

- Especies rústicas (pioneras, invasoras), poco exigentes de la calidad de sitio.
- Que requieran mínimas labores de mantenimiento, como riego, aplicación de fertilizantes, limpieza, podas, etc.
- Resistencia a las plagas y enfermedades.
- Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios (capacidad de rebrotes).
- Que sean poco palatables (apetecidas por el ganado).
- En aquellos casos que sean para utilizar en las zonas de amortiguamiento deben ofrecer alguna utilidad a la comunidades locales.

2. Establecimiento en campo

- Establecimiento en áreas protegidas categorías IV, V y VI. En especial se deben utilizar especies autóctonas y con sistema de siembra cuadrangular o rectangular para terrenos planos o con una pendiente menor al 15%. Para terrenos con una pendiente mayor al 15% se debe utilizar el sistema de siembra tresbolillo (pata de gallina), lo cual permite controlar la escorrentía superficial y evitar la erosión del suelo.

El Cuadro 4 y la Figura 18 presentan los distanciamientos y un diagrama de los arreglos de siembra propuestos. Este diseño de siembra no excluye la utilización de otras combinaciones de distanciamiento, lo importante es combinar especies con diferentes necesidades de luz, tasas de crecimiento y equilibrar la distribución de espacios para que se formen los diferentes estratos del bosque en el menor tiempo posible.

Cuadro 4. Número de individuos y distanciamiento para plantar cada gremio ecológico en los sitios de rehabilitación de las áreas protegidas y las zonas de amortiguamiento

Gremio ecológico	Especies	Individuos (ha)	Simbología	Distanciamiento
Heliofita efímera (arbustiva) ¹	3	468		8 x 8
Heliofita efímera (porte arbóreo)	3	312		8 x 4
Heliofita durable maderable	2	156		8 x 8
Total	8	936		

¹ Las heliofitas efímeras se siembran a razón de tres plantas por punto de siembra con un distanciamiento de 1 x 1 metros entre plantas, y de 8 x 8 metros entre puntos de siembra.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

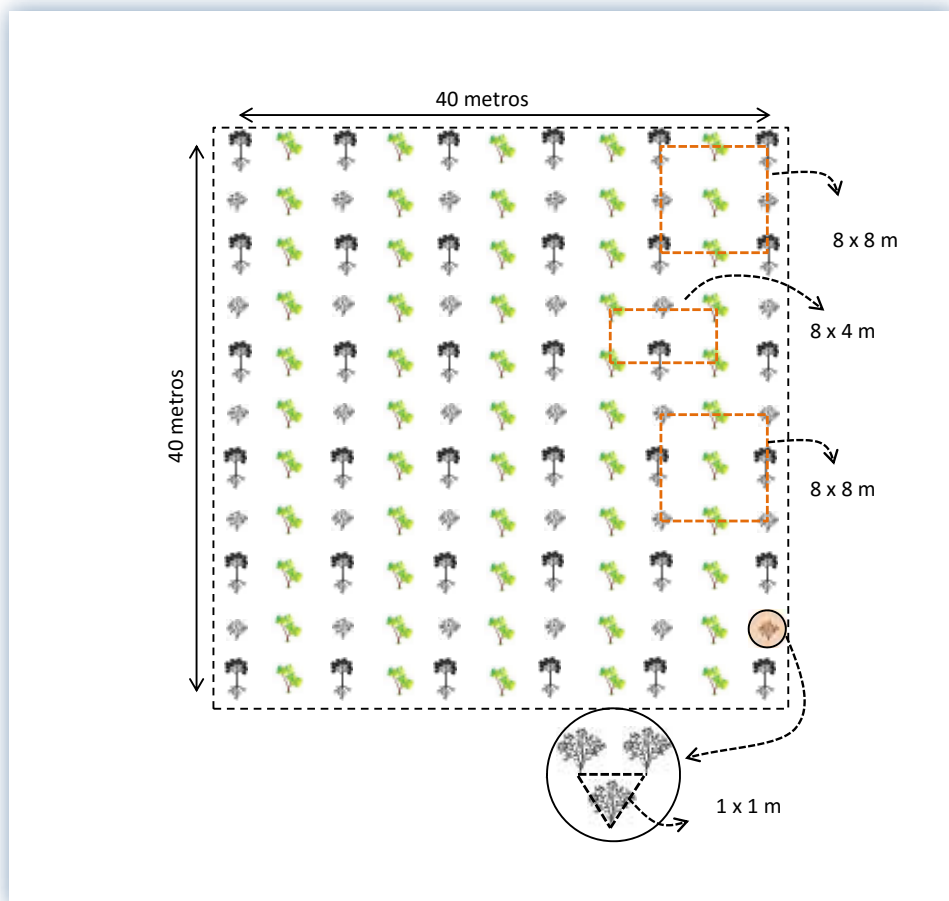


Figura 18. Diagrama de los arreglos de siembra en las acciones de rehabilitación en áreas protegidas categorías IV, V y VI y en las zonas de amortiguamiento.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

c) Restauración con enfoque dirigido a especies de poblaciones reducidas

Los sistemas nacionales de áreas protegidas contribuyen a las estrategias de conservación in situ de las poblaciones de especies que queden dentro de sus ecosistemas, pero esta estrategia no logrará su propósito a largo plazo sino se avanza de manera simultánea en mejorar el manejo de los recursos naturales en el entorno donde se encuentran, así como en generar procesos de consumo y producción más sustentables.

La restauración de ecosistemas se plantea como una de las opciones que permiten la conectividad de los sitios en áreas de alta importancia para la biodiversidad; de ahí que para Mesoamérica se haya dado un amplio programa para impulsar una conectividad ecológica macrorregional (Miller et ál. 2001). Es por esta razón que la planeación estratégica en la conservación es un proceso que debe efectuarse de manera periódica y en distintos niveles, ya

sea con un enfoque regional, temático o bien sobre ecosistemas y especies de particular interés (*Conservation International* 2004).

La implementación de acciones de restauración para este caso tendrá un enfoque de conservación de especies y sus poblaciones, lo que permitirá diseñar estrategias de restauración con aquellas especies que presentan algún grado de riesgo; establecido por la lista roja de la UICN, el convenio internacional CITES, los reglamentos y decretos de veda de la políticas estatales, teniendo en cuenta las especies endémicas para cada una de las regiones donde se encuentren las áreas protegidas y sus entornos.

1. Selección de especies y medios de reproducción

Para la selección de las especies el diagrama de la Figura 19 puede servir de guía. Entre los aspectos relevantes a considerar una vez seleccionadas las especies es seleccionar un grupo no menor de 16 individuos en las subpoblaciones para aumentar la variabilidad genética y la plasticidad fenotípica, así se amortiguan las diferencias selectivas entre genotipos, se favorece su coexistencia y se promueve el intercambio genético que les posibilita la adaptación a nuevas situaciones de cambios ambientales (Sultan 2003). Entre los criterios a considerar para seleccionar las especies en los ensayos de restauración son:

- Lista roja de especies de la UICN.
- Lista de especies de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres convenio (CITES).
- Lista de especies en riesgo o con restricciones de uso consideradas por políticas de los gobiernos locales.
- Grado de endemismo de las especies presentes en el área protegida y sus entornos.

Basado en los criterios antes mencionados se puede diseñar una estrategia de selección de especies de una forma integral y coherente con los fines de conservación. Una vez seleccionadas las especies se deben ubicar los individuos en campo, procurando no seleccionar individuos cercanos. Debe existir un distanciamiento de 250 metros o más entre los individuos por colectar. Es recomendable llevar un seguimiento fenológico que permita predecir las épocas de cosecha de semillas para su posterior reproducción en vivero. Durante la colecta se deben almacenar las semillas en lugares frescos, así como evitar el almacenamiento prologando, en especial con aquellas especies con semillas recalcitrantes, las cuales pueden perder su viabilidad en períodos cortos de tiempo.

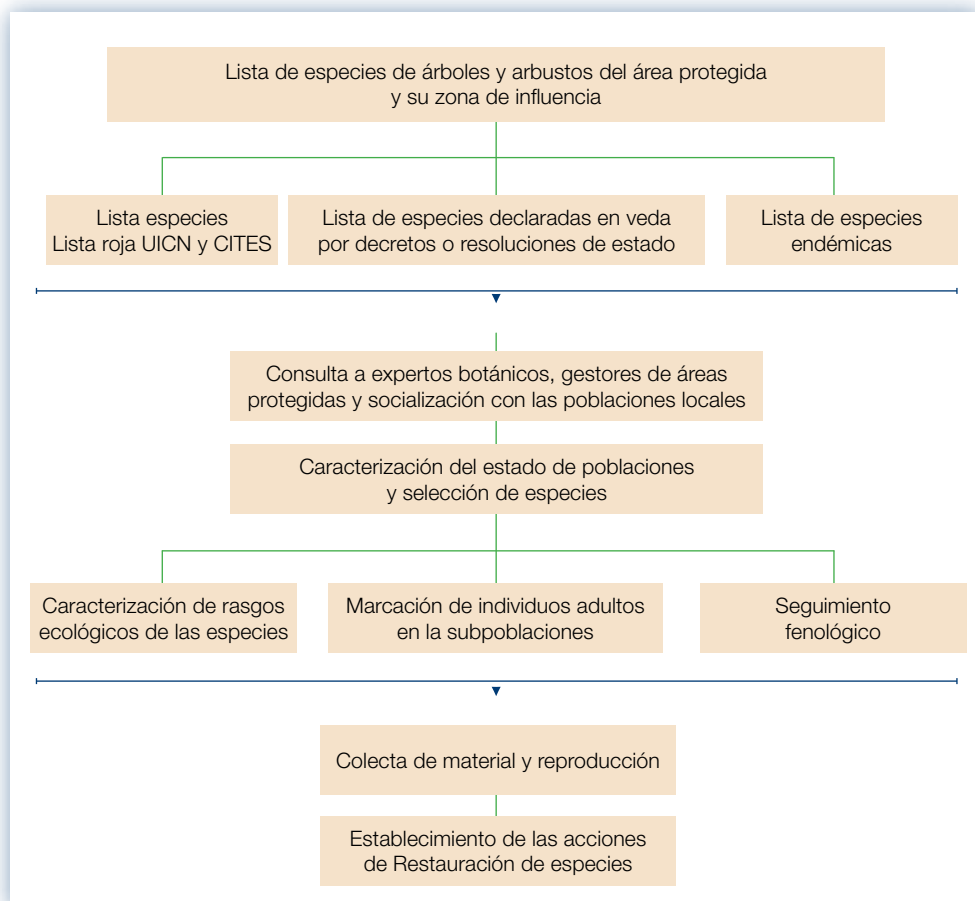


Figura 19. Diagrama secuencial de los pasos por seguir en la selección de especies en riesgo y el establecimiento de los ensayos de restauración de especies.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2. Establecimiento de las áreas de siembras de especies de poblaciones reducidas

En el establecimiento en campo se pueden establecer secciones de restauración de especies amenazadas, bloques puros (solo la especie seleccionada) con distanciamientos que pueden variar entre 4 x 4, 5 x 5 y 6 x 6 metros. El distanciamiento dependerá de la estrategia reproductiva de la especie (helófito o esciófito) y de su porte cuando el individuo sea adulto. Además, se pueden combinar los sitios de restauración con especies amenazadas y con otras referentes de los ecosistemas cercanos, lo cual permite integrar las acciones de restauración de especies amenazadas con la rehabilitación del área degradada. Otra combinación se puede hacer con las técnicas antes descritas, donde se intercalan áreas con restauración ecológica, áreas con rehabilitación, áreas con técnicas de nucleación y áreas con especies amenazadas, con el fin de que las diferentes estrategias queden integradas y formen un mosaico mucho más diverso de restauración (Figura 20).

Cuadro 5. Número de individuos y distanciamiento para plantar cada gremio ecológico en los sitios de rehabilitación de las áreas protegidas y las zonas de amortiguamiento

Ecología de la especie	Especies	Individuos (ha)	Simbología
Heliofita efímera (arbustiva) ¹	3	360 ¹	
Heliofita efímera (porte arbóreo)	2	60	
Especie seleccionada (amenazada)	1	240	
Total	6	660	

¹ Las heliofitas efímeras se siembran en grupos de 3 plantas por sitio de siembra a un distanciamiento de 1 x 1 metro.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

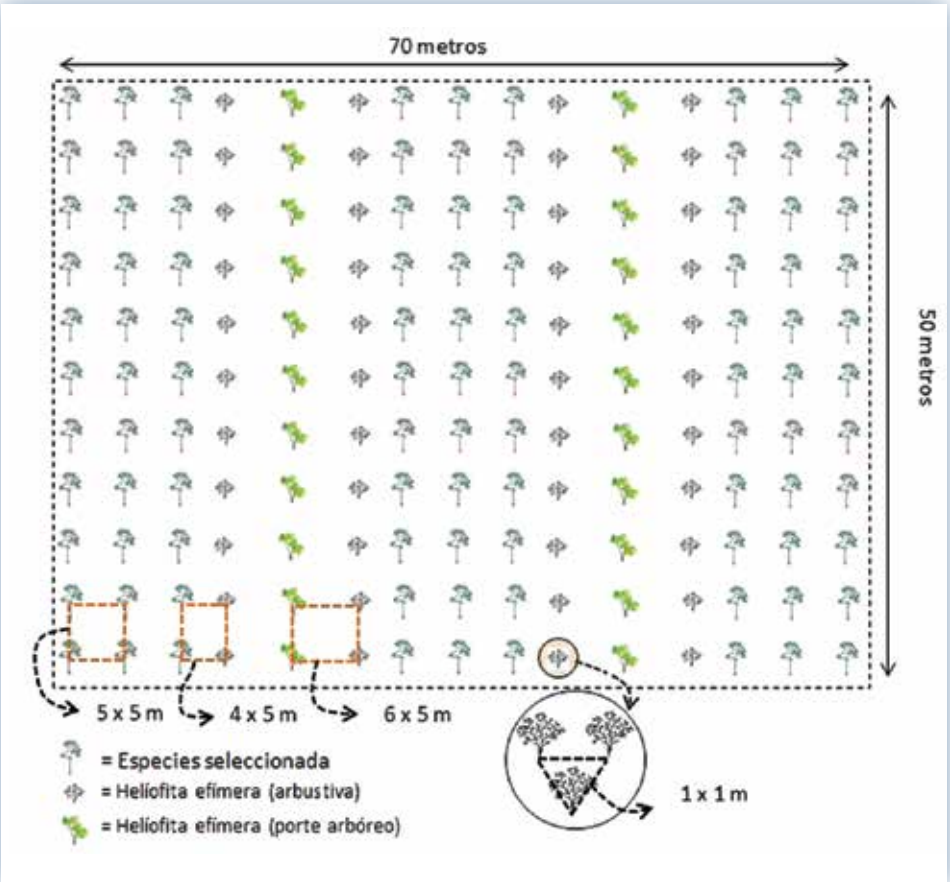


Figura 20. Diagrama de los arreglos de siembra en la acciones de restauración de especies con poblaciones reducidas en áreas protegidas categorías IV, V y VI y en las zonas de amortiguamiento.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

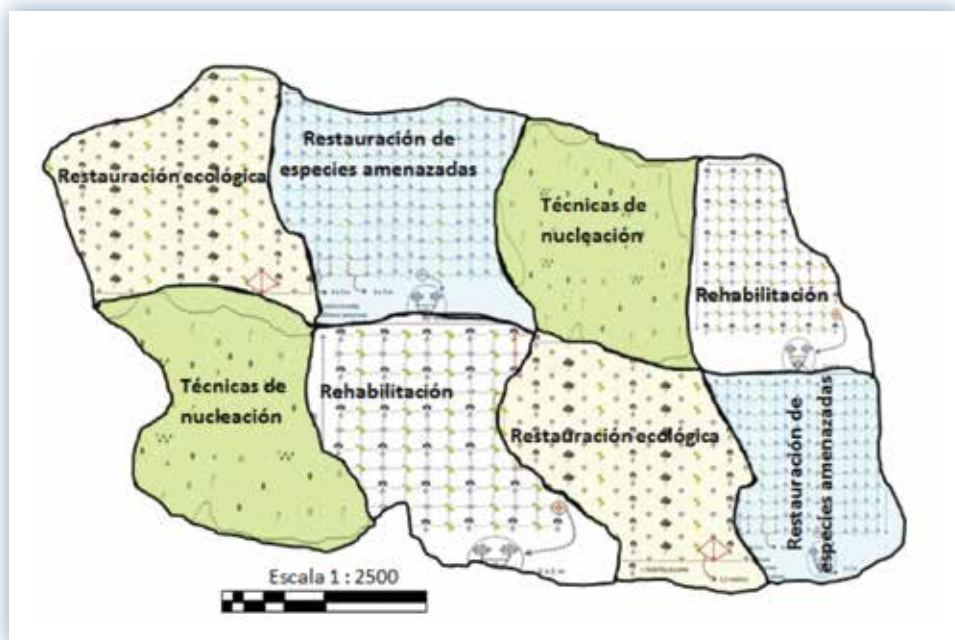


Figura 21. Combinación de acciones de restauración para varias técnicas de implantación en un área de 10 hectáreas, en áreas protegidas y zonas de amortiguamiento.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.2 Estrategias de restauración en bosques y selvas privadas y comunales

Históricamente los bosques y selvas han sido expuestos a múltiples presiones que han originado un continuo cambio en los componentes principales de su diversidad y su estructura. La pérdida de áreas cubiertas de bosques y selvas son una constante en las estadísticas mundiales sobre el cambio de uso del suelo y la pérdida de cobertura forestal, por esta razón, la conservación de bosques y selvas se vuelve una tarea cada vez más difícil para las organizaciones vinculadas a su protección.

El manejo forestal con criterios de sostenibilidad es alcanzable y representa una alternativa viable y efectiva para detener el deterioro de estas zonas. Todas aquellas acciones que se ejecuten bajo un esquema de ordenación forestal sostenible y que permitan planificar sus actividades en función de mantener una mayor integridad ecológica de los ecosistemas forestales, bajo un contexto de restauración del paisaje forestal, serán acciones que posibiliten a los pobladores de las comunidades rurales aumentar y sustentar los beneficios que se derivan del aprovechamiento de sus tierras.

Las acciones de manejo forestal permiten integrar principios, técnicas y experiencias prácticas que posibilitan no solo obtener beneficios a los propietarios en relación con el aprovechamiento

del recurso forestal, sino que posibilita también mantener el bosque con sus principales características ecológicas para contribuir al bienestar local, regional y global. La integración de enfoques innovadores como el manejo forestal sostenible que buscan ampliar el esfuerzo de conservación a través de la incorporación de prácticas de producción y desarrollo más compatibles con la biodiversidad, son enfoques que permiten ver las acciones dentro de un contexto de estrategias que promueven la conservación del paisaje rural en extensas superficies fuera de las áreas protegidas, mediante acciones de restauración del paisaje forestal.

Los bosques y las selvas son una fuente permanente de servicios ecosistémicos, tales como la protección del suelo contra la erosión, la regulación del régimen hidrológico, el suministro de agua dulce, la captura y almacenamiento de carbono, la producción de oxígeno y el mantenimiento de los hábitats para amparo de la biodiversidad (Simula y Mansur 2011), por tanto, su degradación constituye un grave problema ambiental, social y económico. De acuerdo con una reunión de expertos de la FAO (2002), se definió la degradación forestal como: *la reducción de la capacidad del bosque de proporcionar bienes y servicios*. La degradación puede ser un precursor de la pérdida de la cobertura forestal, asociado principalmente al cambio de uso del suelo de terrenos forestales a suelos destinados a cultivos agrícolas, ganadería, plantaciones (árboles, palma, entre otros.), construcción de infraestructura como carreteras y desarrollos urbanísticos. En la Figura 22 se ilustra las etapas que nos llevan a la degradación forestal, proceso que puede ser detenido con el mejoramiento forestal o la intervención a través de la implementación de actividades de ordenación forestal, lo cual incluye la restauración por medios silvícolas y la rehabilitación por repoblación asistida en los terrenos degradados.

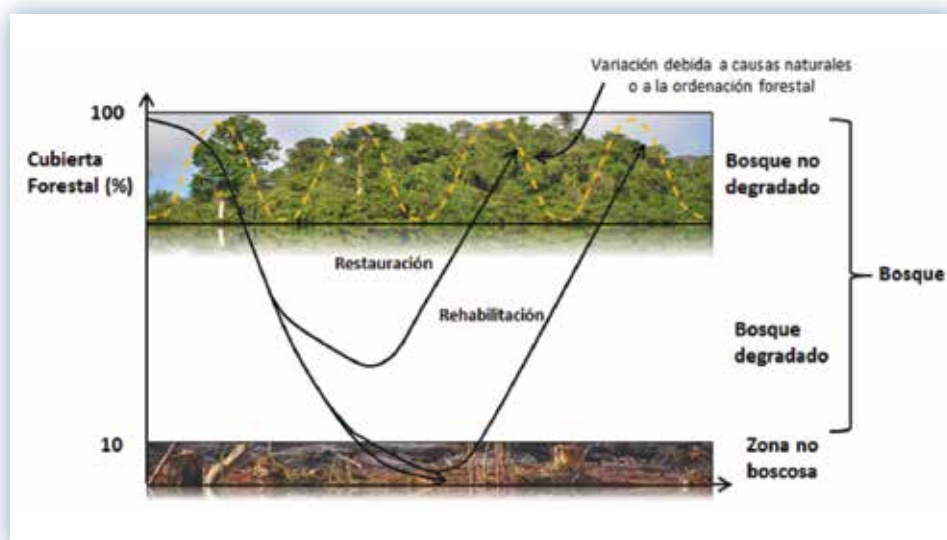


Figura 22. Esquema indicador de la degradación de los paisajes forestales. Muestra las áreas potenciales para restauración y rehabilitación, así como las áreas donde se pueden implementar acciones de ordenación forestal (basado en FAO (2011), con modificaciones de los autores).

La deforestación y la degradación han alterado muchos de los paisajes forestales tropicales del mundo a tal punto que, en el mejor de los casos, solo el 42% de la cobertura boscosa remanente (o el 18 de la cobertura boscosa original) de los trópicos ocupa grandes extensiones continuas de tierra (OIMT-UICN 2005). Generalmente el paisaje está conformado por el ensamble de una serie de mosaicos de distintos usos del suelo (Figura 23), la distribución específica de sus componentes son exclusivas de cada paisaje. La fragmentación de los hábitats es un proceso dinámico que genera cambios notables en el patrón del hábitat en un paisaje en el curso del tiempo. El término ‘fragmentación’ se suele utilizar para describir cambios que se producen cuando grandes segmentos de vegetación se reducen en tamaño o se eliminan por completo, por tanto quedan numerosas áreas de bosques más pequeños separados unos de otros. Muchos de los fragmentos aislados de bosques y selvas no constituyen una fuente de recursos para sus propietarios, por lo que la ordenación forestal busca integrar actividades que permitan obtener un flujo continuo de recursos y servicios y a la vez posibilite la permanencia de la biodiversidad en estos bosques.

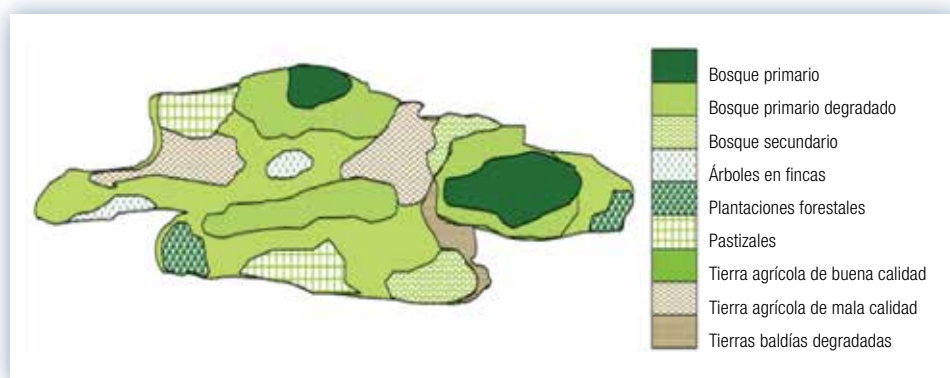


Figura 23. Esquema hipotético de los estratos que pueden conformar un paisaje forestal (basado en OIMT-UICN (2005) y modificado por los autores).

2.2.1 Bosques y selvas primarias y secundarias con un enfoque de aplicación de prácticas de manejo forestal sostenible (MFS)

2.2.1.1 Objetivos de la restauración con la aplicación de herramientas de manejo forestales

- Implementar acciones de manejo forestal sostenible en áreas cubiertas de bosques y selvas primarias y secundarias, con el fin de asegurar la permanencia de su cobertura y satisfacer de forma permanente las necesidades de bienes y servicios por parte de sus propietarios.
- Favorecer los medios que permitan una adecuada conservación de los suelos, recursos hídricos y reservas de carbono de los bosques y selvas.
- Apoyar los medios de conservación de la diversidad biológica, sustentar la resiliencia y la capacidad de reposición de los bosques, inclusive su capacidad para el almacenamiento de carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático.

- Permitir mecanismos que contribuyan a la seguridad alimentaria y las necesidades de sustento de las comunidades que dependen de los bosques y selvas.
- Aplicar sistemas silviculturales que sean compatibles con los procesos ecológicos y sociales que sustentan los recursos de los bosques y selvas, que además favorezcan los bienes y servicios para sus propietarios.

2.2.1.2 Selección de los sitios por restaurar

Los bosques tropicales naturales son sumamente importantes para la conservación de la diversidad biológica del mundo, pero solo una parte son conservados en las áreas protegidas y no cubren más del 10% de la superficie mundial (OIMT-UICN 2009). El aprovechamiento de árboles como un medio de extracción de madera de los bosques muchas veces es considerada como una de las principales amenazas para la biodiversidad (Baillie 2004), pero la principal amenaza de la pérdida de biodiversidad nos es precisamente las prácticas de aprovechamiento forestal, sino aquellas acciones indiscriminadas que culminan con un cambio de uso del suelo, donde áreas conformadas por bosques y selvas se transforman en áreas carentes de este recurso. No obstante, un manejo correcto de los bosques, bajo los principios básicos de sostenibilidad, permite integrar conceptos claves que posibilitan la permanencia de los bosques y selvas, manteniendo flujos de recursos y servicios para sus pobladores y a la vez se transforman en una estrategia más de conservación de la biodiversidad (Meijaard 2005).

A continuación se pretende dar un enfoque sobre las herramientas de ordenación forestal y estrategias silviculturales que posibilita integrar acciones de planificación en busca de un manejo forestal sostenible. Deseamos aclarar que el principio de este Capítulo se concentra sobre las acciones de restauración, rehabilitación y recuperación de paisajes forestales que requieren de algún medio que permita recuperar una mayor integridad ecológica a un ecosistema degradado. No obstante, es necesario ofrecer escenarios alternativos para aquellas áreas constituidas por bosques y selvas naturales que permitan mantener, con una mejor integridad, su estructura, su función y su biodiversidad. Por tanto el manejo forestal sostenible se puede transformar en una potente herramienta práctica de conservación, y a la vez contribuir con la mitigación de la pobreza y, simultáneamente, asegurar los procesos y funciones del bosque.

El sistema propuesto de manejo forestal es un sistema policíclico, es un medio que permite mantener las funciones ecológicas de los bosques y de las selvas al tomar en consideración la representatividad de especies en el bosque, el número de individuos y el área basal por categorías diamétricas. Se limita el aprovechamiento a una sección de los árboles comerciales (tala selectiva) por medio de la fijación de un diámetro mínimo de corta y el establecimiento de ciclos de corta que le permitan al bosque recuperar sus condiciones después de cada intervención. Este sistema debe ser acompañado por actividades de aprovechamiento de bajo impacto como: tala dirigida, planificación de caminos primarios, secundarios y trochas, control de las intensidades de corta, manejo de claros, marcación de árboles reproductores, protección de recursos hídricos y control de aprovechamiento en

zonas de altas pendientes. La aplicación de sistemas policíclicos mantiene las siguientes condiciones del bosque:

- a. A nivel de la vegetación, logra mantener su estructura y composición florística, ya que no se produce un cambio severo y permite que el bosque se recupere a través de su regeneración natural.
- b. Permite disminuir el efecto sobre el suelo, ya que no queda expuesto y reduce las pistas de extracción, y controla las acciones en sitios que presentan una fisiografía muy irregular.
- c. Protege las fuentes hídricas, ya que excluye las zonas de protección de los ríos, quebradas y fuentes intermitentes de drenaje y las transforma en zonas de protección.
- d. Se controla el tamaño de los claros, lo cual permite que el bosque se regenere principalmente con heliofitas durables y esciófitas, representativas de los bosques primarios.

Entre los aspectos más importantes para la selección de sitios para la implementación de acciones de manejo forestal se debe considerar la zonificación del paisaje (Perdomo, et ál. 2002), la cual establece que se deben determinar las áreas críticas para el manejo, la protección y la recuperación de los ecosistemas forestales, tomando en cuenta los diferentes elementos del paisaje, pero que se consideren los procesos ecológicos y socioeconómicos que se desarrollan en la zona. Entre la información que se debe recopilar para determinar las áreas críticas de manejo forestal se encuentran:

- a. Determinar la composición y estructura de los bosques, con el fin de valorar las especies presentes y su distribución en función de las categorías diamétricas.
- b. Describir el paisaje y caracterizar las áreas o fragmentos de bosques de acuerdo con su forma, tamaño y paisaje circundante.
- c. Realizar una caracterización de la fisiografía que considere los sistemas de drenajes, las pendientes y cercanía a recursos hídricos con el fin de priorizar su protección.
- d. Considerar aspectos relacionados a la socioeconomía local con el propósito de valorar las actividades de manejo forestal como una fuente de recursos, con el fin de considerarla como una opción que permita dinamizar la economía local a través de la generación de fuentes de trabajo.
- e. Uno de los aspectos relevantes a considerar es el grado de dependencia que tienen los dueños de bosques y selvas del uso del recurso, ya que para ellos serán esencial encontrar caminos seguros que permitan una subsistencia a través de la implementación de prácticas de manejo forestal.

Las áreas por seleccionar para la implementación de prácticas de manejo forestal, serán las áreas de bosques y selvas que mantienen una cobertura con las principales especies asociadas a ecosistemas naturales maduros y que se rigen por un régimen privado de propiedad

de la tierra con dueños o terrenos estatales (ejidos, asociaciones comunales). Además es importante considerar que exista una dependencia de recursos o generación de acciones productivas en el bosque por parte de sus propietarios, con el propósito de recibir beneficios tangibles asociados al uso de los recursos forestales presentes.

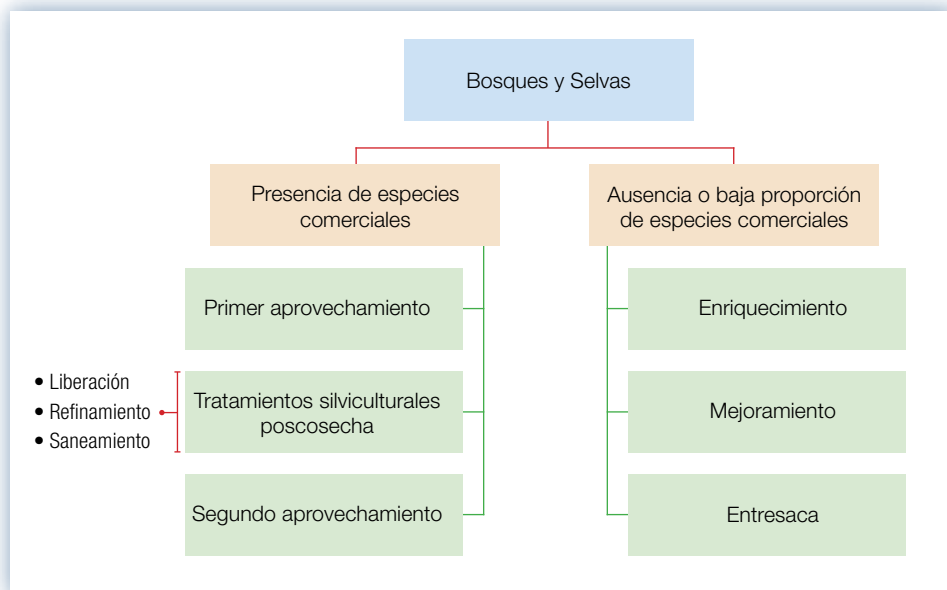


Figura 24. Diagrama de acciones de manejo forestal para implementar en bosques y selvas.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.2.1.3 Técnicas de implementación

a) La ordenación como herramienta de planificación del manejo forestal sostenible

De acuerdo con la OIMT (2011) la ordenación forestal sostenible supone un equilibrio entre los diferentes usos del bosque, lo que asegura su correcto funcionamiento ecológico continuo y la prestación de beneficios y funciones en el futuro. La OIMT (1992) definió la ordenación forestal sostenible como: *el proceso de manejar los bosques para lograr uno o más objetivos de ordenación claramente definidos con respecto a la producción de un flujo continuo de productos y servicios forestales deseados, sin reducir indebidamente sus valores inherentes ni su productividad futura y sin causar ningún efecto indeseable en el entorno físico y social*. El proceso de ordenación forestal sostenible se basa fundamentalmente en el manejo de zonas definidas de bosque (Unidades de Manejo Forestal, UMF) y su característica esencial es que el potencial ecológico de cada una de estas unidades no se debe reducir con el manejo aplicado.

Como herramienta de planificación de las acciones de manejo forestal se utiliza “el plan general de manejo (PGM)”, instrumento que posibilita la gestión de las actividades que se planifican para la ordenación sostenible de un bosque. Este es un mecanismo que define qué

actividades deben realizarse, cuándo, dónde y cómo para optimizar la cantidad de bienes y servicios, mejorar su calidad, minimizar los costos por su aprovechamiento y principalmente buscar los mecanismos idóneos de manejo que causen el menor daño posible y aseguren los procesos y funciones del bosque con un manejo sostenible.

De acuerdo con la FSC (2000), un plan general de manejo debe incluir:

- Los objetivos del manejo.
- La descripción de los recursos del bosque que serán manejados, las limitaciones ambientales, el estado de la propiedad y el uso de la tierra, las condiciones socioeconómicas y un perfil de las áreas adyacentes.
- La descripción del sistema silvicultural y/u otro sistema de manejo, basado en la ecología del bosque y en la información obtenida a través de los inventarios forestales.
- La justificación de la tasa de cosecha anual y de la selección de especies.
- Las medidas para el monitoreo del crecimiento y la dinámica del bosque.
- Las medidas ambientales preventivas basadas en las evaluaciones ambientales.
- Los planes para la identificación y la protección de las especies raras, amenazadas o en peligro de extinción.
- Los mapas que describan la base de los recursos forestales, incluyendo las áreas protegidas, las actividades de manejo planeadas y la titulación de la tierra.
- La descripción y justificación de las técnicas de cosecha y del equipo a ser usado.

CATIE (1994) plantea una estructura con sus contenidos mínimos que debe abarcar el Plan General de Manejo:

- Resumen ejecutivo.
- Objetivos.
- Duración del plan, período y sistema de revisión.
- Información de la Unidad de Manejo Forestal.
- Inventario forestal.
- Tipo de manejo del bosque.
- Sistema de aprovechamiento.
- Protección del bosque.
- Estudios adicionales.

Entre las herramientas del Plan General de Manejo se contempla el Plan Operativo Anual (POA) que brinda las herramientas o directrices operativas para el desarrollo de las actividades que abarcan el manejo del bosque o selvas. Este plan operativo anual se puede dividir en dos planes auxiliares que permiten una mejor planificación de las actividades:

1. Plan Operativo Anual de aprovechamiento (POAa): contempla la planificación y el aprovechamiento de los recursos forestales del bosque.
2. Plan Operativo Anual de silvicultura (POAs): se refiere a la planificación y ejecución de las actividades silvícolas y en especial relacionada a los tratamientos silviculturales.

Es muy importante que aquellos dueños o propietarios comunales de bosques y selvas que tienen el interés de implementar acciones de manejo forestal, consulten a las organizaciones o instituciones gubernamentales para que les expliquen y guíen sobre las acciones legales que regulan el aprovechamiento de los bosques de cada país, la legislación sobre el tema de aprovechamiento varía de acuerdo con el contexto y políticas nacionales que reglamentan el manejo forestal.

Los objetivos de la ordenación forestal siempre se fijan a largo plazo y una buena administración del manejo sostenible de un área con bosque y selvas debe tener en consideración al menos los siguientes componentes básicos (Louman et ál. 2004):

- Regulación de la corta.
- División del bosque en unidades administrativas, cada una con sus propios objetivos a corto (áreas de corta anual) o largo plazo (las UMF).
- Niveles adecuados de planificación.
- Red vial eficaz.
- Sistema de registros de las actividades por unidad administrativa por año.
- Sistema de vigilancia y protección del bosque antes, durante y después del aprovechamiento.

Para la ordenación de los bosques y selvas es muy importante aplicar la Gestión Forestal Sostenible que según las Naciones Unidas se define como: *un concepto dinámico y evolutivo [que] tiene por objetivo mantener y mejorar los valores económicos, sociales y ambientales de todo tipo de bosques en beneficio de las generaciones presentes y futuras. Esta descripción deja claro que la Gestión Forestal Sostenible variará a lo largo del tiempo, pero que su propósito es, como mínimo, mantener indefinidamente todos los valores forestales.* Este es un concepto multidimensional ya que incorpora los tres pilares de la sostenibilidad, es decir, los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Herramientas de regulación de corta para el Manejo Forestal Sostenible

En aquellos casos donde el uso del bosque se centra en el aprovechamiento de su madera, se puede utilizar el concepto de corta anual permisible, como un medio de ordenación del recurso forestal. Los métodos de regulación de la corta se pueden basar en:

- a. Regulación por área

b. Regulación por volumen

c. Regulación combinada por área y volumen

A continuación se presentan los medios de ordenación basados en lo propuesto por Louman et ál. (2004), para una mejor comprensión de estos conceptos se puede revisar el documento editado por el CATIE (2004) denominado *Planificación del Manejo Diversificado de Bosques Latifoliados Húmedos Tropicales*.

a) Regulación por área

Este método se basa en las áreas efectivas de bosques y selvas con potencial de aprovechamiento, el cual debe contemplar todas las áreas con bosques productivos que mantengan una proporción de especies comerciales y que respeten las políticas nacionales que regulan su aprovechamiento y los convenios internacionales, en cuanto a especies amenazadas. El método implica la división del área neta de aprovechamiento entre la duración del ciclo de corta, lo que da como resultado áreas anuales de aprovechamiento. En muchos países la regulación del ciclo de corta se fija con leyes y decretos, pero los criterios ecológicos de sostenibilidad deben ser superiores a la permisibilidad legal, ya que un ciclo fijo de corta no funciona para todos los diferentes tipos de bosques.

Mediante la siguiente fórmula se obtiene el área anual de aprovechamiento de un tamaño fijo:

$$CAP = \frac{S}{T}$$

donde: CAP = corta anual permisible (en ha)

S = superficie de bosque bajo producción (en ha)

T = duración del ciclo de corta (en número de años)

Este método es apropiado para aquellas unidades de bosques y selvas donde los árboles de cosecha están bien distribuidos sobre el área y tienen un crecimiento uniforme, lo cual se cumple en bosques más homogéneos que tienden a formar rodales o se presenta la combinación de unas pocas especies como en los bosques formados por especies de coníferas. En bosques disetáneos genera una producción desequilibrada y provoca fluctuación en la producción anual.

b) Regulación por volumen

Este método se fundamenta en la corta de un volumen similar al crecimiento de bosque, con ciertos ajustes para llegar a una densidad relativa deseada. Las fórmulas de regulación por volumen requieren datos sobre el volumen de madera aprovechable en el bosque y la definición del ciclo de corta. La fórmula de von Mantel es la más simple para calcular el volumen de corta anual permisible. Esta calcula el máximo volumen anual aprovechable como el cociente del volumen total aprovechable del bosque y el ciclo de corta.

La fórmula de von Mantel se define de la siguiente manera:

$$R_n = \frac{V_n}{T}$$

donde: R_n = volumen anual permisible

V_n = volumen de madera aprovechable existente

T = ciclo de corta

Tanto para la regulación por área como por volumen, la duración del ciclo de corta es un factor muy importante para determinar el volumen permisible. Lo que implica determinar ciclos que le permitan al bosque recuperarse para mantener sus procesos y funciones ecológicas. Además es necesario combinar estas técnicas con la fijación de diámetros mínimos de corta, así como una claridad en la taxonomía de la especie para proteger aquellas especies que se encuentran bajo algún criterio de conservación.

c) Regulación por área y volumen

Este método es el más recomendable para los bosques tropicales, combina los dos métodos anteriores y requiere de información confiable de áreas por estrato y volumen comercial. Para su aplicación se requiere realizar un inventario que permita estratificar el bosque y calcular el volumen comercial a nivel de cada estrato y su superficie.

Para determinar el volumen comercial existente en todo el bosque se multiplica el volumen comercial de cada estrato (m^3/ha) por la superficie en hectáreas de cada uno de ellos. El resultado obtenido se ajusta con la aplicación de la metodología de intensidad de corta, la cual estipula la proporción de volumen que es factible aprovechar, combinada con el diámetro mínimo de corta.

El resultado de las existencias de volumen comercial en todo el bosque, multiplicado por la intensidad de corta y dividido por el ciclo de corta nos da el volumen de corta anual permisible por año. Un ejemplo de aplicación de este método es el que practica la Fundación de Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (Fundecor) en Costa Rica a través del Programa de Manejo de Bosque Natural Tropical. Esta iniciativa nace como respuesta a la amenaza de un acelerado deterioro de los bosques naturales, producto del uso inapropiado de las tierras en el Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central durante el período 1986-1992, que experimentó una deforestación de alrededor de 7 000 ha/año (Vargas 1998). La metodología se basa en el aprovechamiento de un porcentaje de individuos sobre el diámetro mínimo de corta (60 cm).

La metodología uno basa la selección de árboles en todas las categorías diamétricas y en la metodología dos, la selección de árboles se hace aprovechando todos los árboles en las categorías diamétricas superiores. Como se observa en la Figura 25, para la metodología dos al año cero que es donde se aplica el primer aprovechamiento, el volumen a extraer es considerablemente mayor (17 m^3) en relación con la primera metodología y el volumen proyectado a extraer en el año 15 es ligeramente menor ($4,7 \text{ m}^3$) (Obando 2001). Respecto

a la metodología uno, el aprovechamiento se hace en igual cantidad de árboles, pero, al aprovechar un mayor volumen, se está dando un valor económico más alto al bosque, lo que permite al propietario un mayor ingreso. Utilizando la segunda metodología solo se extraerían los árboles grandes de las especies aprovechables, quedando en el bosque todos los árboles grandes de las especies remanentes y de los árboles en zonas de protección, lo que podría generar una mayor competencia sobre aquellos individuos de futura cosecha.

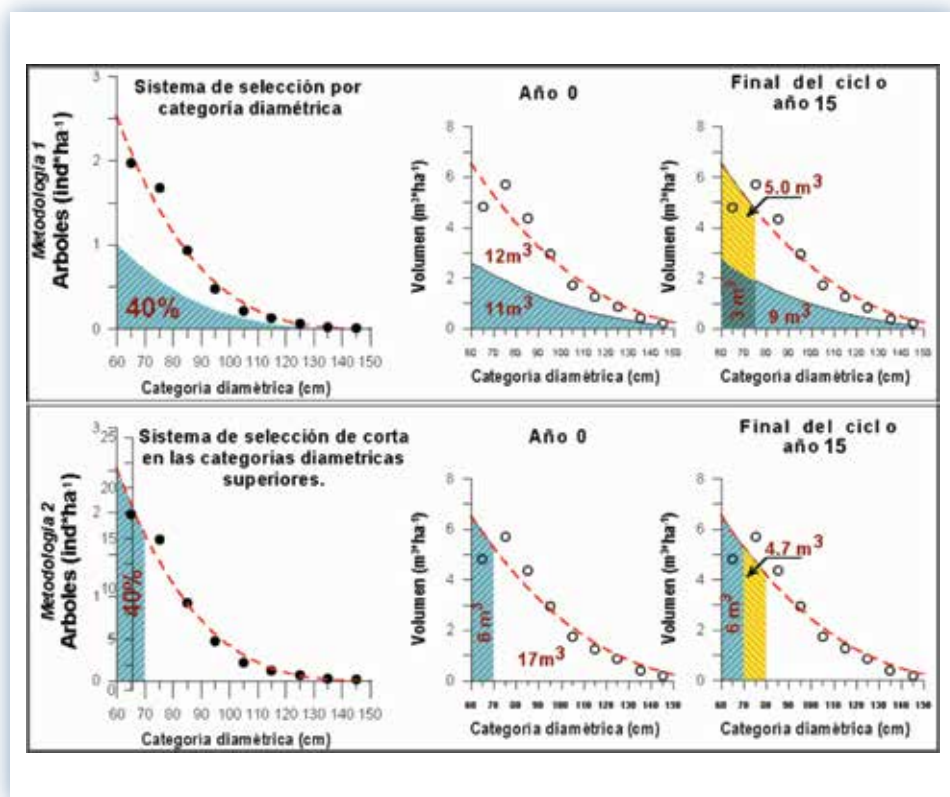


Figura 25. Diagrama de acciones de manejo forestal mediante dos metodologías de corta utilizado en los bosques aprovechados del Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central, Costa Rica por el programa de Manejo de Bosque Naturales de la Fundación de Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (Obando 2001).

Es importante considerar que los árboles con diámetros menores tienen mayor viabilidad y son más fértiles que los árboles más grandes, además, al abrir más el dosel se permitirá una mayor entrada de luz, lo que favorece a los árboles más jóvenes y, en general, promueve el incremento del volumen del bosque. Por lo tanto, en este caso se estarán seleccionando los árboles según la segunda metodología, una vez que sean seleccionados por tamaño, se evaluará también su ubicación en el bosque, para que queden mejor distribuidos, por consiguiente, algunos árboles de las clases diamétricas inferiores, son también seleccionados para su aprovechamiento (Obando 2001).

b) Sistemas silviculturales de saneamiento o mejora como herramienta de recuperación forestal

Estos sistemas tienen como fin realizar una domesticación de la masa en pie para mejorar los rendimientos y favorecer los árboles de las especies comerciales. Este sistema consiste en la eliminación de aquellos individuos sobremaduros, deformados, dañados o con problemas fitosanitarios y que han alcanzado su edad fisiológica de árbol adulto y que se encuentran en una clara competencia con individuos de especies comerciales.

Para su aplicación es necesario realizar un muestreo del estado de los árboles remanentes que son todos aquellos individuos que tienen un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior al diámetro mínimo de corta (DMC), el cual varía en función de las políticas legales que regulan el aprovechamiento forestal en los países tropicales, el DMC varía generalmente entre 40 o 60 cm. Es recomendable que el muestreo se realice siempre con una clase diamétrica inferior que el DMC para que los tratamientos se efectúen sobre los árboles de futura cosecha.

Para el muestreo de remanencia se puede utilizar la metodología del muestreo diagnóstico propuesta por Hutchinson (1993), el cual es considerado como “una operación intencionada para estimar la productividad potencial de un bosque” y su intención principal es tener una idea del estado de la competencia en el bosque. Esta metodología sugiere unidades de muestreo de 10 x 10 metros (0,01 ha) y que se cuente con un mínimo de 100 unidades de muestreo (figura 26), pues rige el principio de que un bosque productivo debe mantener como mínimo un total de 100 árboles potencialmente comerciales, por hectárea, para considerarlo un bosque productivo (Lamprecht 1990), es importante valorar una intensidad de muestreo de 1% para todas aquellas unidades de bosques o selvas productivas con áreas mayores a 100 hectáreas. En aquellos casos de unidades de manejo menores a esta área, se recomienda completar el mínimo de unidades de muestreo sugerido (100).

La causa de remanencia puede ser por:

- **Forma:** individuos cuya extracción es poco o nada rentable debido a las características de fuste.
- **Estado fitosanitario:** árboles con pudriciones, ataques de fitopatógenos o cualquier otra afección que perjudica su calidad.
- **Reserva:** árboles semilleros (AP) o con una función ecológica esencial como madriguera, anidamiento o alimentación de fauna.
- **Veda:** árboles con restricciones legales de corta, técnicas o considerada como especies con poblaciones en riesgo.
- **Potencial:** especies marginadas en el mercado, pero se prevé demanda a corto plazo.
- **No comerciales:** individuos que no pertenecen a especies comerciales.

Cuadro 6. Ejemplo de la abundancia, por hectárea, de los árboles remanentes ≥ 50 cm de DAP en un bosque húmedo tropical, después de 25 años de su aprovechamiento en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Osa, 2012

Tipo de remanencia	50-59,9 cm	60-69,9 cm	70-79,9 cm	≥ 80 cm	Total (N/ha)	%
Forma	2	1	2	1	6	14,6
Estado fitosanitario	1	2	1	1	5	12,2
No comercial	2	3	1	1	7	17,1
Futura cosecha	2	3	2	3	10	24,4
Reserva	1	2	2	3	8	19,5
Veda	0	1	2	2	5	12,2
Total (N/ha)	8	12	10	11	41	
%	19,5	29,3	24,4	26,8	100,0	

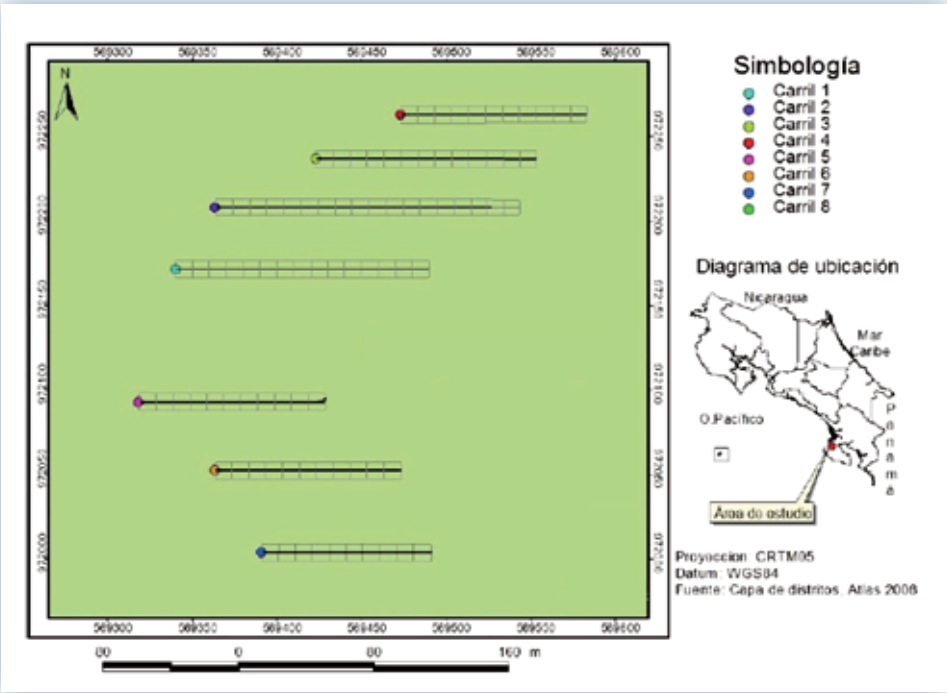


Figura 26. Diagrama de ubicación de los carriles, así como la instalación de las parcelas en el campo para un muestreo de remanencia.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

En el caso anterior el 43,5% de los individuos presentes con diámetros mayores a 50 cm, son árboles que por su condición de forma, estado fitosanitario o especie no comercial, son los que se deben considerar para la aplicación del tratamiento. Entre los aspectos importantes a considerar para la aplicación del tratamiento son:

- Solo se deben eliminar aquellos individuos que representan una competencia directa con árboles de especies comerciales y de futura cosecha.
- Se debe evitar eliminar árboles que puedan generar claros de tamaños grandes, el principio es favorecer la masa remanente comercial y nunca eliminar árboles donde no existan especies comerciales.
- Antes de ejercer el tratamiento debe prevalecer el principio de importancia ecológica del individuo, un árbol puede funcionar como árbol hospedero, alimentación, o la diseminación de semillas de regeneración de importancia faunística.

c) Sistemas silviculturales de enriquecimiento de aplicación en la restauración forestal

Los sistemas de enriquecimiento se emplean cuando la proporción de especies valiosas y con oportunidades de mercado es baja o insuficiente, por lo que se requiere aumentar las posibilidades de que existan una mayor proporción de especies con un alto valor de comercialización, con esta técnica se pretende aumentar la cantidad de especies comerciales.

a. Enriquecimiento en fajas

En términos generales, el enriquecimiento se ha utilizado con la realización de una apertura o faja. Para su establecimiento se realiza una faja de 1 metro de ancho con una orientación de este a oeste para aprovechar mejor la luminosidad, en esta faja se elimina el estrato herbáceo y arbustivo que represente competencia a las plantas establecidas por recursos o luz. En un tramo a ambos lados de la faja de 4 metros de ancho, se eliminan, por medio de corta, aquellos individuos de especies no comerciales que tengan entre los 2 a 4 metros, igualmente se cortan los individuos de copa ancha y que representan una competencia directa con las plantas establecidas. Las especies por utilizar serán las heliofitas durables de rápido crecimiento y de un alto valor en el mercado. Se deberán utilizar plantas grandes de hasta 1 metro de altura y no menores a 50 cm, con el fin de que superen la competencia inicial en su estado de plántula.

Para el diseño (Figura 27), se utilizará fajas cada 24 metros, con distanciamiento en la franja de siembra de árboles cada 4 metros, lo cual permitirá tener alrededor de 100 individuos por hectárea. Entre los aspectos relevantes de este sistema es que preserva la cobertura original del bosque, lo cual permite mantener las condiciones microclimáticas a nivel de sitio y protege el suelo al no quedar descubierto.



Figura 27. Esquema de siembra para enriquecimiento en fajas en bosques tropicales.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

b. Enriquecimiento en claros

En muchos bosques es preferible utilizar este método, permite utilizar los claros naturales para establecer los individuos de siembra. Todos los bosques tropicales presentan claros naturales lo que les permite funcionar como un proceso de renovación natural. Las aberturas provocadas en el dosel son parte del régimen de perturbación natural que influencia la conformación de las especies en un determinado paisaje (Scatena 2002). Los claros son aberturas en el dosel del bosque, generados por la caída de un árbol como consecuencia de factores endógenos del bosque como la edad fisiológica del individuo, la fisiografía del terreno y la conformación de los suelos, o por factores exógenos como el efecto por la precipitaciones y los rayos o tormentas locales, además de considerar la conformación de claros por acciones antrópicas relacionadas al manejo forestal, apertura de trochas y caminos, así como la tala ilegal que se genera en muchos países tropicales (Bazzaz 1991, Bazzaz y Pickett 1988, Brokaw 1985, Martínez-Ramos 1985).

Cuando se genera un claro en el bosque, se producen una serie de cambios en las condiciones medio ambientales muy diferentes a las del bosque no perturbado. Existe un mayor ingreso de luz hasta el sotobosque, lo que favorece el crecimiento de individuos que se encuentren a este nivel y que no hayan sufrido daños significativos. De esta manera, tanto la luz como la temperatura dentro del claro pueden alcanzar valores similares a los recibidos por el dosel del bosque (Bazzaz 1991). De esta forma aprovechar los claros naturales como acciones de recuperación, nos permite no solo dirigir y controlar los proceso de cicatrización del claro, sino que también nos permite introducir especies que posteriormente tienen mayores posibilidades de comercialización. Las especies por utilizar serán las heliófitas durables y de un alto valor en el mercado, deben ser plantas grandes de hasta 1 metro de altura y no menores a 50 cm para que superen la competencia inicial en su estado de plántula. Es muy

importante realizar actividades de mantenimiento por un período aproximado de tres años o hasta que las plantas estén en una buena posición (estrato medio), dirigidas a liberar el espacio de bejucos y otras plantas que compiten por los recursos.

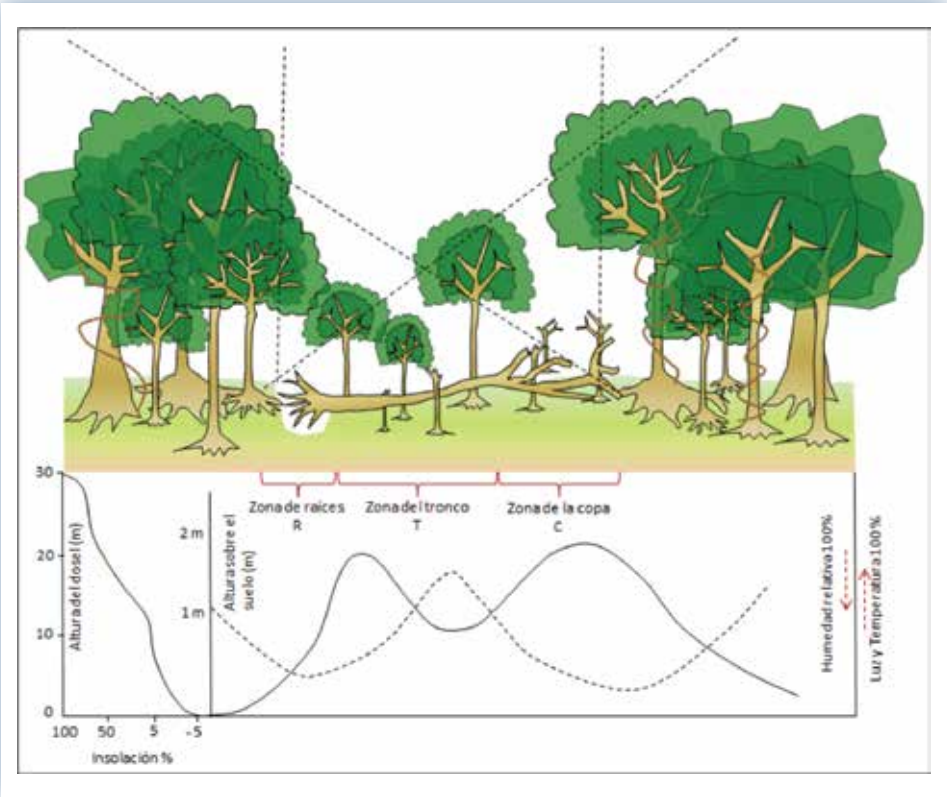


Figura 28. Conformación de un claro generado por la caída de un árbol, la parte inferior representa los patrones hipotéticos en relación con la variación de luz, temperatura y humedad en las tres zonas del claro (basado en Martínez-Ramos (1985) con modificaciones de los autores.

Cuadro 7. Tamaño del claro, densidad de siembra y distanciamiento en el sistema de enriquecimiento en claros para bosques y selvas

Tamaño del claro (m²)	Densidad de siembra	Distanciamiento (m)
100-150	4	4 a 6
151-250	6	4 a 6
251-400	11	4 a 6

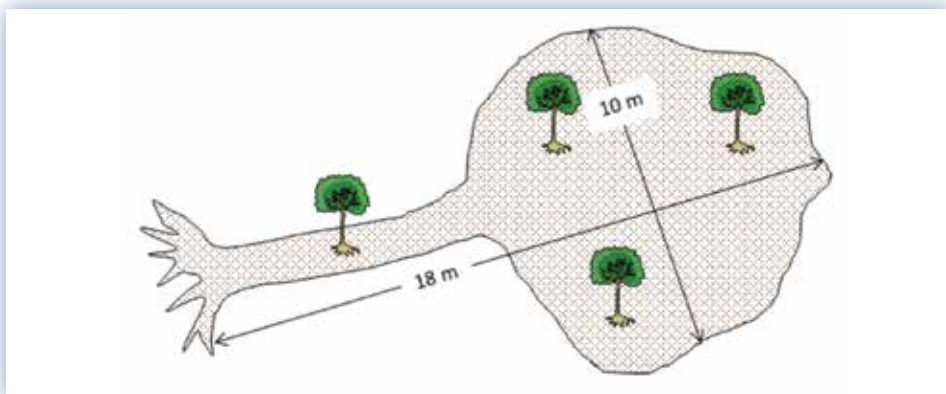


Figura 29. Esquema de siembra para claros con tamaños entre los 100 a 150 m².

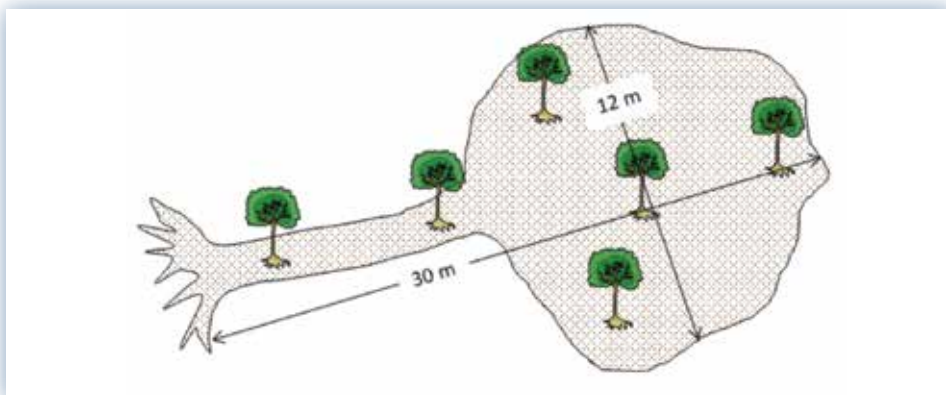


Figura 30. Esquema de siembra para claros con tamaños entre los 151 a 250 m².

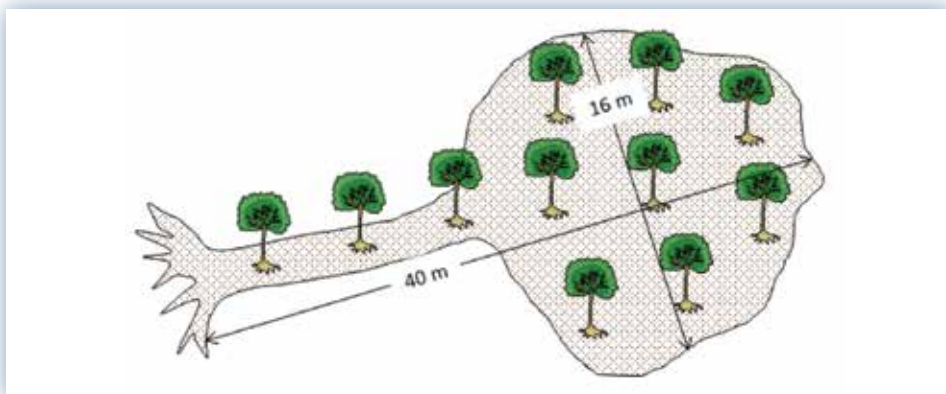


Figura 31. Esquema de siembra para claros con tamaños entre los 251 a 400 m².

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

c. Enriquecimiento posaprovechamiento

Es muy común que después de un aprovechamiento se generen una serie de claros producto de los árboles derribados o por las pistas, patios y caminos de extracción que se construyen. En promedio se extraen con el aprovechamiento entre cuatro a cinco árboles por hectárea y cada uno de ellos provoca un claro promedio de 200 m², lo que nos genera un área de 1 000 m²/ha con posibilidades de siembra. Lo anterior nos permite sembrar alrededor de 60 árboles por hectárea. Al utilizar estos sitios como áreas de enriquecimiento, no solo se posibilita el control de la regeneración con especies de alto valor comercial, sino que permite acelerar los procesos de recuperación del bosque por acción de los impactos producidos por el aprovechamiento. Para el caso de los claros generados por el derribo, se puede utilizar el esquema de enriquecimiento en claros, combinado con acciones de recuperación en las áreas impactadas por las pistas y trochas de extracción.

Las especies por utilizar, serán las heliófitas durables de rápido crecimiento, previendo un período de cosecha entre los 20 a 25 años y de un alto valor en el mercado, se deberán utilizar plantas grandes de hasta 1 metro de altura y no menores a 50 cm, con el fin de que superen la competencia inicial en su estado de plántula, hay que tener en cuenta que los árboles que se siembren en las trochas deben de ser de rápido crecimiento para que alcancen un diámetro considerable entre los períodos de cosecha, muchas trochas y caminos son reutilizadas en el siguiente ciclo de corta.

Es muy importante realizar actividades de mantenimiento dirigidas a liberar el espacio de bejucos y otras plantas que compiten por los recursos por un período aproximado de tres años o hasta que las plantas estén en una buena posición (estrato medio). En cuanto a la siembra en áreas de caminos o pistas de arrastre, se podrá sembrar en aquellos que por su condición ecológica requiere un proceso de cierre de vegetación o en aquellos casos donde no se prevé su uso en próximos aprovechamientos (Figura 32).

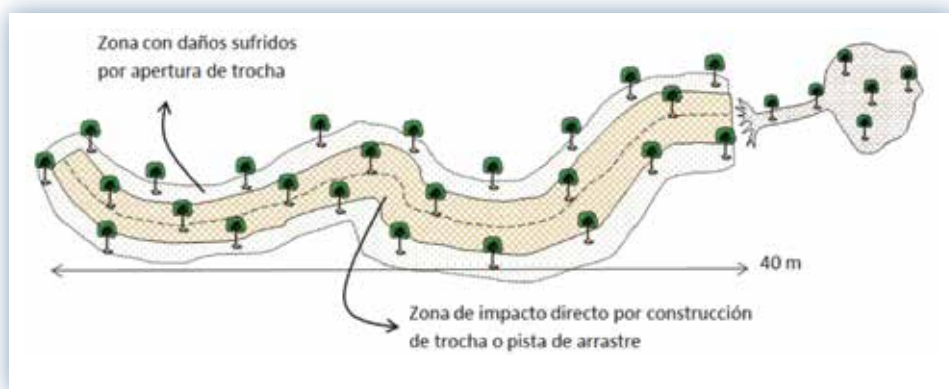


Figura 32. Esquema de siembra para las áreas impactadas por construcción de trochas o pistas de arrastre posterior al aprovechamiento como un medio de recuperación y enriquecimiento en bosques aprovechados.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

d) Tratamientos silviculturales de liberación como herramienta para fortalecer la masas forestales con prácticas de manejo forestal

Existen muchas proporciones de bosques y selvas en condiciones naturales donde la composición de especies y su estructura permite orientar sus acciones hacia las prácticas de manejo forestal. Pero dado que los individuos que conforman la comunidad forestal están en una constante competencia por los recursos (agua, luz, suelo y espacio), el crecimiento individual de cada uno de ellos muchas veces se ve limitado por la competencia de su vegetación circundante. Esta competencia es uno de los principales factores que permite manipular y/o controlar, con acciones silviculturales, las condiciones de crecimiento, y en muchas ocasiones, la supervivencia y permanencia de aquellos individuos que podremos considerar de interés productivo, ya sea por su madera, sus frutos, sus hojas, su corteza, la extracción de exudados, la producción de taninos, los metabolitos secundarios, entre otros. Con la implementación de algunos tratamientos silviculturales se puede ajustar la composición y estructura del bosque, con el fin de aumentar la cantidad de productos provenientes de las especies arbóreas forestales deseables.

El tratamiento de liberación consiste, en primera instancia, en eliminar aquella vegetación que representa una competencia directa con los árboles de futura cosecha y favorecer las condiciones de iluminación. Este tratamiento también se aplica cuando los árboles están muy juntos, lo cual crea competencia por espacio y nutrimentos (Quirós 2001). El tratamiento se dirige a cada uno de los árboles seleccionados y de interés para el productor forestal, consiste en eliminar mediante el anillamiento o corta directa, en algunos casos con la ayuda de productos químicos que funcionan como inhibidores de la actividad fisiológica, lo que permite una desaparición paulatina del individuo sin provocar mayores daños a la masa remanente. Generalmente se aplica a los árboles cercanos al árbol de futura cosecha y que supere una tamaño de los 30 cm de DAP hasta el diámetro mínimo de corta.

Por lo general, la competencia se determina con la observación de las condiciones de iluminación del árbol de futura cosecha (Figura 33) y se aplica para aquellos individuos con condiciones de iluminación 3,4 o 5 (Hutchinson 1993), lo cual indica la necesidad de abrir el dosel para eliminar la competencia por luz. Indirectamente el tratamiento permite favorecer también la disponibilidad de agua, nutrimentos y espacio. Estas acciones se expresaran en mayores tasas de crecimiento y en mejorar sus dimensiones.

Como un complemento a las condiciones de iluminación se puede ayudar con la tabla propuesta por Wadsworth (1997), la cual indica la distancia mínima permitida para la convivencia entre árboles deseables y los individuos de competencia. Si se determina que la distancia real entre los individuos es menor a la distancia mínima que la tabla sugiere (Cuadro 8), se procede a realizar la liberación y eliminación del individuo no deseado.

Cuadro 8. Tabla de distancias para la liberación de árboles según Wadsworth (1997)

Suma de diámetros ($Ds_1 + d_2$) (cm)	Separación mínima (m)
20-39	3
40-59	5
60-79	7
80-99	8
> 100	9

Ds_1 = Diámetro del árbol deseable de futura cosecha
 d_2 = Diámetro del árbol vecino no deseado

Para entender la tabla anterior, tenemos el siguiente ejemplo, dentro del bosque se identifica un árbol de futura cosecha con condiciones de iluminación 3,4 o 5 y tiene un DAP de 43 cm (Ds_1), y cerca de él, se localiza el árbol no deseable con un DAP de 21 cm (d_2). Con esta información tenemos que $Ds_1 + d_2 = 64$. Luego se procede a medir la distancia en el campo y se obtiene que es 6,2 m, lo cual indica que el árbol (d_2) se debe eliminar. Algunas prácticas en los trópicos plantean que se debe anillar en promedio 1,7 árboles por cada liberado, con esto se asegura el espacio y se elimina la competencia directa de los árboles de futura cosecha.

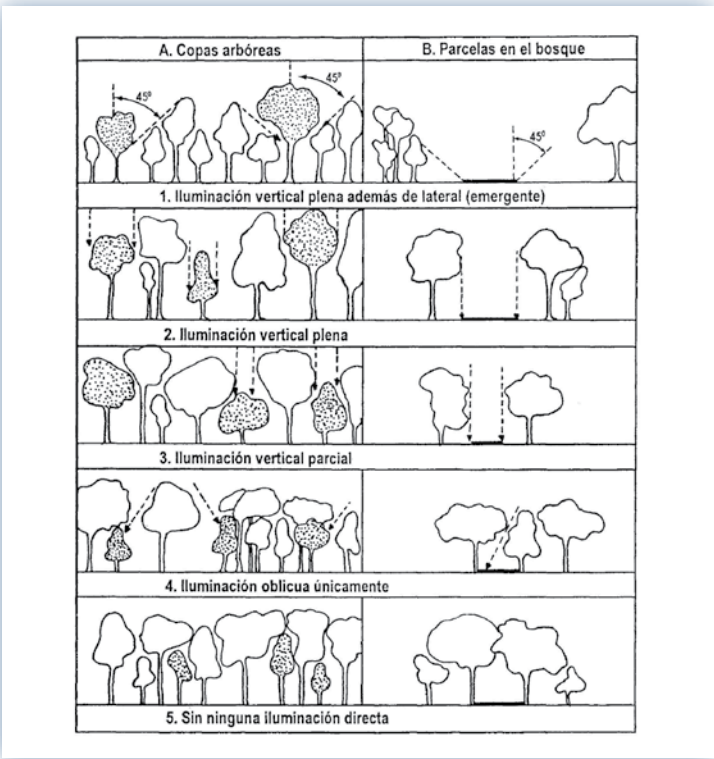


Figura 33. Esquema que permite clasificar las condiciones de iluminación de los árboles de futura cosecha según Dawkins (1957).

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.2.2 Bosques y selvas primarias y secundarias degradadas

Los bosques y selvas son una herramienta esencial en la conservación de la biodiversidad y pueden cumplir muchas funciones al mantener las interacciones de los paisajes forestales en el plano local, nacional, regional y mundial, pero a la vez, son una fuente básica de suministros como: agua, madera, leña y otros productos y servicios a la comunidades locales, y hoy en día, son considerados como un medio que permite reducir el carbono atmosférico. Para que los bosques y selvas primarias y secundarias logren mantener sus principales funciones ecológicas y puedan ofrecer sus servicios ecosistémicos, deben conservar, en una mayor proporción, la complejidad de interacciones ecológicas, preservar su medio abiótico y contribuir a la estabilidad ambiental. Muchos bosques y selvas han sufrido un constante deterioro lo que les ha hecho perder sus condiciones naturales y están en un proceso continuo de degradación forestal (Figura 34). Según FAO (2002), *la degradación del bosque es una reducción de la capacidad del mismo para producir bienes y servicios. El término “capacidad” se refiere a una escala de tiempo y al estado referencial de un determinado bosque.*

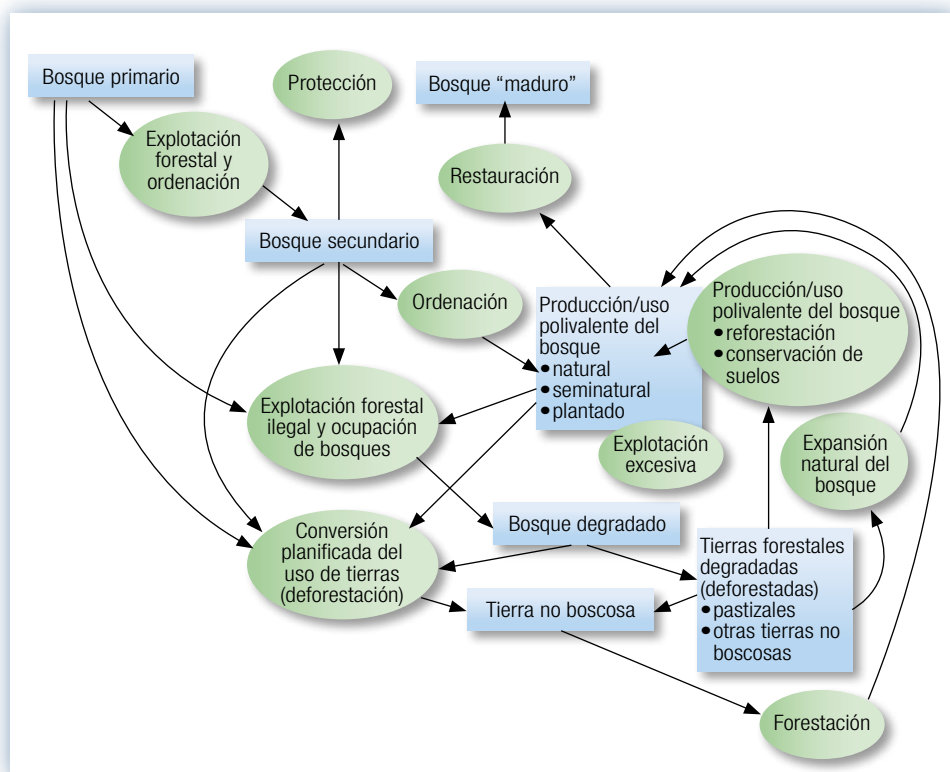


Figura 34. Esquema simplificado de la degradación de los bosques inducida por el ser humano (tomado de FAO 2009).

Fuente: FAO 2009.

De acuerdo con la OIMT (2002), un bosque degradado proporciona un nivel reducido de productos y servicios de un sitio determinado y mantiene solo una diversidad biológica limitada. El bosque degradado ha perdido la estructura, la función, la composición de especies y/o la productividad normalmente asociadas con el tipo de bosque natural que es, un reflejo de los procesos subyacentes, tanto naturales como por acciones antropogénicas. Entre las causas más comunes de la degradación de los bosques primarios se debe mencionar la sobreexplotación de productos forestales maderables y no maderables, las intervenciones no controladas para uso temporal del suelo en actividades agrícolas extensivas y la inclusión de actividades de pastoreo en áreas con bosques. Sin embargo, de todos estos factores probablemente el más importante en los trópicos sea, la explotación sin control con maquinaria pesada y métodos deficientes de extracción, lo cual afecta el suelo, los árboles remanentes, el agua y la fauna silvestre.

Los bosques primarios degradados y los bosques secundarios se están convirtiendo cada vez más en el tipo de bosque predominante de muchos países tropicales. Generalmente tienden a cumplir las funciones de los bosques primarios de antiguo crecimiento. Sin embargo, los procesos de degradación empobrecen el recurso forestal y deterioran la funcionalidad de los paisajes forestales.

En el caso de los bosques secundarios se generan por procesos ecológicos de sucesión secundaria, que se caracterizan por cambios en el ecosistema después de una perturbación natural o humana (Gómez-Pompa et ál. 1979). La sucesión es entendida como el proceso donde se reemplazan las especies y las comunidades a través del tiempo y el espacio (Figura 35); así el sistema gana en complejidad hasta llegar al estado de máxima autorregulación y depende de factores como: el estado del banco de semillas (legado genético), la condiciones del sustrato (fisiografía, la fertilidad, la disponibilidad de agua en el suelo, el grado de toxicidad), la estructura del paisaje y los propágulos que arriban desde las áreas adyacentes por lluvia de semillas. Cuando muchos de estos factores no contribuyen de una manera eficiente en el restablecimiento de los bosques secundarios, se generan bosques que ofrecen limitados bienes y servicios y su funcionalidad ecológica es reducida, ahí es donde hablamos de bosques secundarios degradados.

Cuando los bosques primarios y secundarios han pasado por amplios períodos de degradación y sus condiciones naturales no son recuperadas por medios naturales, se requieren de acciones de restauración, rehabilitación, ordenación y protección, que permita no solo restablecer sus funciones ecológicas, sino que favorezca el incremento de bienes y servicios ecosistémicos para sus dueños y poblaciones subyacentes. Son muchos los autores que mencionan los beneficios que se pueden generar en bosques degradados cuando se logran plantar árboles en los diferentes esquemas de restauración (Mather 2004 y Xu et ál. 2007). La rehabilitación forestal es un mecanismo que permite conducir los estados ecológicos de un bosque a sus condiciones naturales más cercanas. La rehabilitación del bosque incluye múltiples prácticas que son planificadas, financiadas, implementadas y monitoreadas por una serie

de actores. Entre los actores primarios se incluyen generalmente los gobiernos, organismos públicos, el sector empresarial, las ONG y los propietarios privados y dueños comunales. Los gobiernos son fundamentales en la rehabilitación de los bosques, a menudo inician los programas de rehabilitación de los bosques a través del financiamiento por programas de incentivos, generación de políticas forestales y regulaciones a través de la legislación.

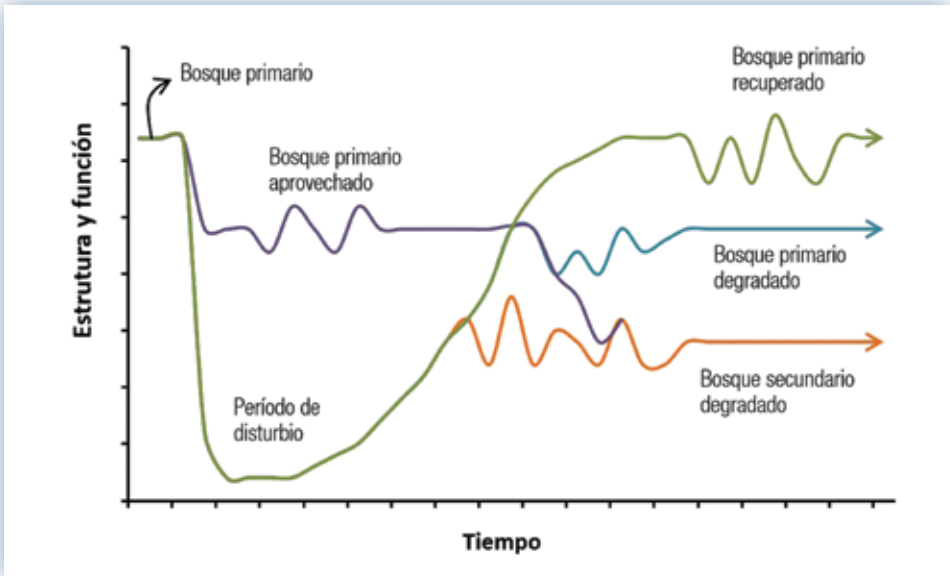


Figura 35. Esquema que representa de manera simple las dimensiones de recuperación posterior a un aprovechamiento de bosque o periodo de disturbio y sus posibles condiciones finales de recuperación.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

Cuadro 9. Patrones de uso del suelo que originan bosques primarios y secundarios con diferente grado de degradación en los trópicos, de acuerdo con Chokkalingam, Smith y Jong (2001) y modificado por el autor

Etapa de uso extensivo	Etapa de explotación intensiva	Etapa de degradación del bosque
Deterioro lento del ecosistema forestal mediante la extracción forestal selectiva.	Rápido deterioro de los ecosistemas forestales mediante la explotación indiscriminada de madera, la extracción de otros productos forestales y/o cultivos migratorios.	Solo quedan bosques fragmentados en un paisaje rural abierto.
Áreas limitadas de bosques secundarios (barbechos forestales).	Grandes extensiones de bosques primarios degradados y bosques secundarios.	Quedan bosques principalmente en tierras de bajo rendimiento agrícola.
Mosaico de paisajes forestales Intactos.	Rápido aumento de bosques secundarios y degradados.	Predomina el paisaje agrícola.

Fuente: Chokkalingam, Smith y Jong 2001.

2.2.2.1 Objetivos de la Restauración para bosques y selvas primarias y secundarias degradadas

- Orientar acciones de restauración, recuperación y rehabilitación de los bosques y las selvas primarias y secundarias degradadas para mejorar la funcionalidad del ecosistema y favorecer la generación de bienes y servicios ecosistémicos.
- Promover la generación de beneficios para los dueños y las poblaciones subyacentes a través de las técnicas de restauración, recuperación y la rehabilitación de bosques y selvas primarias y secundarias degradadas.
- Incrementar los medios de conservación de la diversidad biológica con acciones dirigidas a mejorar las condiciones ecológicas de los bosques primarios y secundarios degradados.
- Profundizar el conocimiento sobre los bosques primarios y secundarios degradados que permitan dictar lineamientos en las acciones de restauración.
- Orientar y promover la gestión forestal dirigida a la rehabilitación de bosques primarios y secundarios degradados.
- Identificar una red de áreas de bosque donde la restauración sea claramente una prioridad desde la perspectiva del medioambiente, asociadas a las necesidades de las poblaciones locales.
- Ayudar a los planificadores a integrar la restauración, la conservación y la ordenación de los bosques primarios y secundarios degradados en los paisajes forestales.

2.2.2.2 Selección de los sitios por restaurar

La restauración forestal es la principal estrategia de ordenación que se aplica a los bosques primarios degradados y que se puede adaptar a los bosques secundarios degradados. La restauración forestal busca acelerar los procesos naturales de regeneración con el propósito de restablecer la salud y resistencia del ecosistema.

La restauración forestal se logra cuando la composición de especies, la estructura de la masa forestal, la biodiversidad, las funciones y los procesos del bosque restaurado se corresponden, lo más estrechamente posible, con los del bosque original o el bosque objetivo que se adapta a las condiciones ecológicas, pero permite ofrecer bienes y servicios ecosistémicos. Para la selección de los sitios por restaurar es necesario valorar que el bosque primario o secundario presenta condiciones de degradación que no le permiten, por medio de la sucesión natural, regresar a las condiciones antes del disturbio o bosque de origen.

Los criterios que se pueden considerar para la selección de sitios por restaurar son los siguientes:

- **Significancia:** el bosque degradado representa una fuente de bienes y servicios a sus dueños y genera un dinamismo socioeconómico con las poblaciones locales.

- **Urgencia:** se requieren la implementación de acciones correctivas de restauración que permitan acelerar los procesos de restablecimiento de los bienes y servicios ecosistémicos, así como favorecer la recuperación de la integridad del ecosistema.
- **Reversibilidad:** los bosques primarios y secundarios en estado de degradación no poseen las condiciones naturales que le permitan revertir los procesos de deterioro.
- **Factibilidad:** este criterio permite definir la posibilidad de ejecutar el proyecto con los recursos técnicos y financieros que se necesiten y su relación con los recursos que puedan gestionarse.

2.2.2.3 Técnicas de implementación

a) Sistemas de enriquecimiento para bosques primarios y secundarios degradados

1. Enriquecimiento con líneas productivas

Para aquellos bosques primarios o secundarios que presentan un alto grado de degradación y la presencia de especies con potencial de comercialización es baja, se puede combinar la regeneración del bosque con líneas de enriquecimiento altamente productivas. Esta es una estrategia utilizada en áreas con un estado intermedio de perturbación, el cual mantiene algunas características de la vegetación original. Para las acciones de implementación se deberán utilizar una combinación de especies de un temperamento variado en cuanto tasa fotosintética, crecimiento y necesidades de luz. Como estrategia se deberán utilizar principalmente especies heliófitas durables de vida larga en combinación con especies esciófitas. Es importante considerar las condiciones de la especie para adaptarse a las condiciones fisiográficas del terreno, ya que la topografía y en especial la pendiente tiene mucha influencia sobre la adaptación y el crecimiento de las especies. El Cuadro 10, se puede tomar como referencia para clasificar la topografía del terreno en función de la pendiente y se puede utilizar el clinómetro como instrumento para determinarla, se debe expresar en porcentaje. Los terrenos que pueden ser considerados serán aquellos entre las categorías I a IV, lo importante es considerar la pendiente para seleccionar las especies por sembrar como factor relacionado con la adaptabilidad.

Cuadro 10. Categorías de pendiente en función del relieve

Categoría	Descripción	Pendiente
I	Plano	0 a 3%
II	Ligeramente ondulado	3 a 8%
III	Moderadamente ondulado	8 a 15%
IV	Ondulado	15% 30
V	Tierras restringidas	> 30%

En este caso, aunque las especies introducidas estén presentes en el área, deben ser reintroducidas, pero con individuos reproducidos por semillas oriundas de otros fragmentos para aumentar la variabilidad genética y favorecer los procesos de resiliencia y resistencia de los ecosistemas.

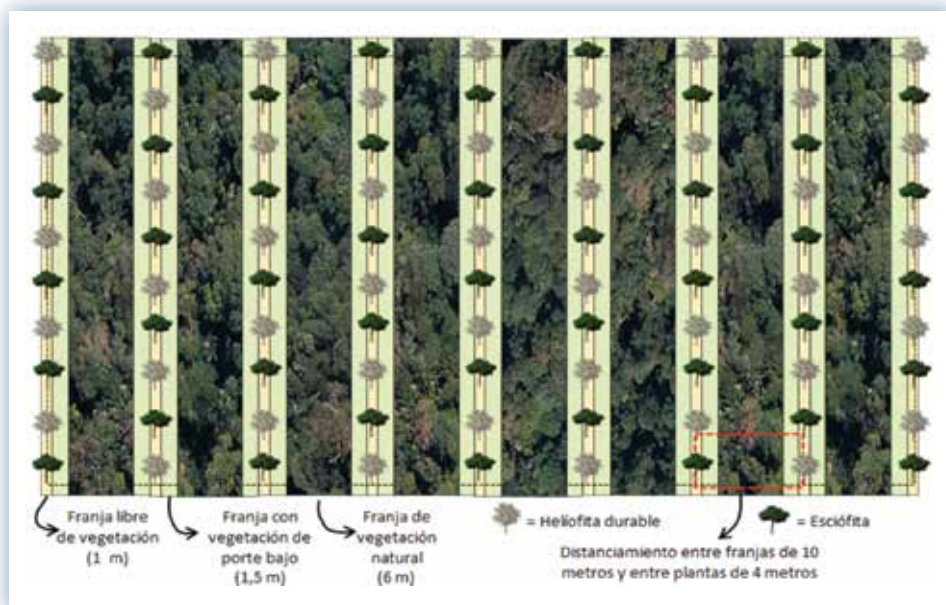


Figura 36. Diseño de enriquecimiento en líneas productivas para áreas con bosques primarios o secundarios degradados.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

Cuadro 11. Propuesta de manejo para las fajas productivas de enriquecimiento en bosques y selvas primarios y secundarios degradados

Condicionante de uso	Área (m ²) por cada hectárea	Acción recomendada
Franja productiva	1 000	Siembra de 125 plantas por hectárea de 6 a 8 especies helíofitas durables de vida larga combinadas con otras 125 individuos de 2 a 4 especies esciófitas. Total de individuos a plantar por hectárea: 250.
Vegetación natural de porte bajo	3 000	Controlar la vegetación por medio de anillamiento en individuos de porte alto (> 12 m) y con copas amplias que generan competencia por luz a los individuos sembrados.
Vegetación natural	6 000	Dejar que se regenere por acción natural, evitar crear caminos de acceso entre franjas y controlar el desmonte para otras acciones, ya que estas áreas representarán a futuro el acervo genético para favorecer procesos de sucesión natural.

2. Enriquecimiento con franjas de cosecha

Cuando se cuente con sitios cuya fisiografía se encuentre entre las categorías I y II con topografía plana o ligeramente ondulada y presenten un alto grado de degradación, se debe considerar una reconversión productiva como estrategia de restauración. Esta reconversión busca establecer franjas de cosechas con especies maderables principalmente de una alto potencial de comercialización. En los extremos de las franjas se debe utilizar especies esciófitas principalmente y en la parte central de la franja se utilizarán especies helíofitas. Se utilizará un distanciamiento de 3,5 por 3,5 metros, lo que permite

tener 406 individuos por hectárea en la franjas de cosecha. Esta técnica busca integrar las franjas de conservación (50% del área total), la cuales funcionarán como filtros ecológicos que permiten mantener y restaurar el ecosistema a través de la sucesión natural y así, minimizar el efecto de la zona intervenida. Se deberá utilizar una combinación de especies, entre 4 a 6 especies esciófitas y entre 8 a 12 especies heliofitas durables. La combinación de especies busca mejorar el ensamble ecológico entre las franjas de cosecha y las franjas de conservación.

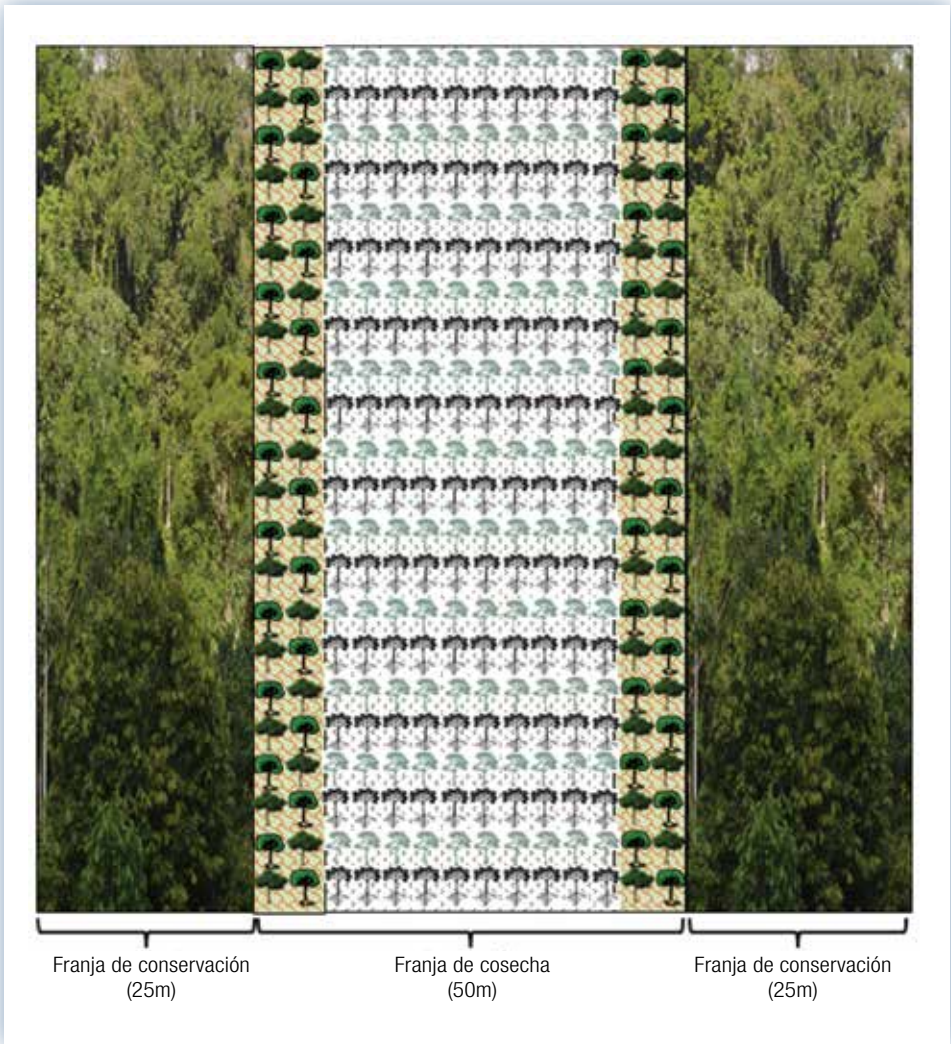


Figura 37. Diseño de enriquecimiento en franjas de cosecha para áreas con bosques primarios o secundarios degradados y que presenta una topografía plana o ligeramente ondulada.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.3. Recuperación de suelos degradados por extracción en minas y canteras (tajos)

A nivel mundial, se estima que la degradación del suelo actualmente se encuentra en 1.9 millones de hectáreas y está aumentando a un ritmo de 5 y 7 millones de hectáreas cada año (IAEA 2011). La degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo, lo que resulta en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios (FAO 2015). La degradación del suelo es un proceso de deterioro que supone la reducción o pérdida de la capacidad productiva, tanto biológica como económica, debido al cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas y la composición y cobertura de la vegetación (Stocking 2001).

Los suelos degradados contienen un estado de salud que no pueden proporcionar los bienes y servicios normales del suelo en relación con su ecosistema (Biancalani et ál. 2013). Generalmente la degradación del suelo es producto de actividades humanas, acompañada por procesos naturales y está íntimamente interconectada con el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (UNCDD 2012). Entre las principales causas antrópicas que han provocado la degradación del suelo se pueden mencionar: la continua ocupación de terrenos debido a la expansión urbana y proyectos de explotación (minería), la contaminación del suelo resultado de actividades agrícolas, industriales y urbanísticas y la sobreexplotación relacionada con el sector de la agricultura (Figura 38).

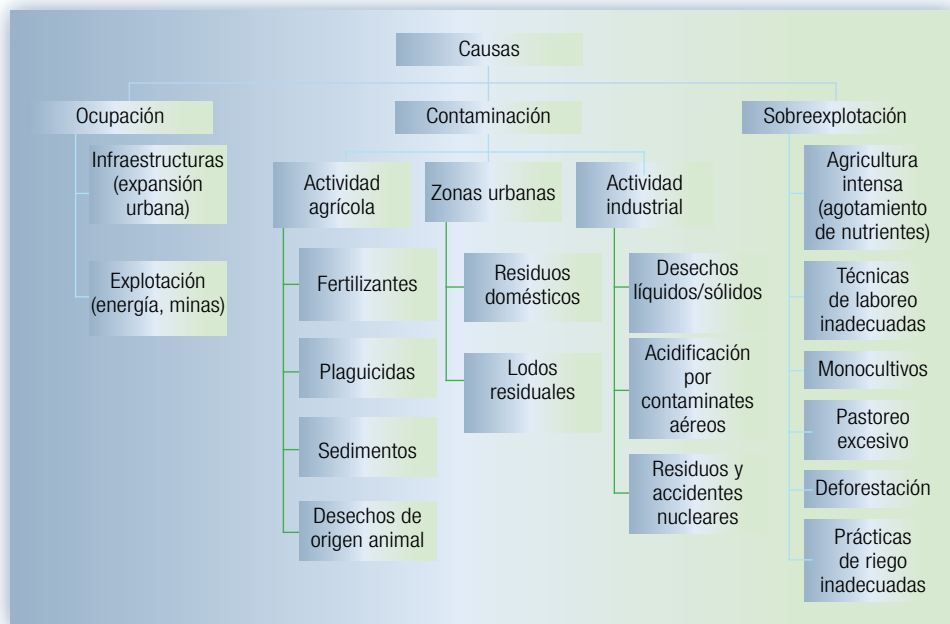


Figura 38. Principales causas de la degradación de suelos, basado en López-Falcón (2002) con modificaciones de los autores).

Hoy en día se sabe que no existe prácticamente ningún medio físico (agua, aire y suelo) que no esté afectado o amenazado por una posible contaminación. No obstante, mientras la composición del aire y del agua se puede medir y responde a valores estándares definidos globalmente, definir la calidad del suelo es mucho más complejo ya que constituye un conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos. La importancia de la calidad y salud del suelo explican algunas de las funciones claves determinantes que incluyen la capacidad para descomponer residuos de plantas y animales, mantener adecuados niveles de nutrientes y materia orgánica y funcionar como un sistema de filtro para suplir agua pura a los ríos, lagos y aguas subterráneas; cualquier factor, y en especial la contaminación, pueden inhibir sus actividades y tener grandes efectos en la fertilidad del suelo, y por tanto, en su calidad (Doran y Jones 1996). Es incuestionable que la fertilidad del suelo se relaciona con su productividad en los sistemas agrícolas y se hace evidente la necesidad de una buena salud del suelo para asegurar tanto su funcionamiento en cuestión de su ecosistema como la seguridad alimentaria.

Las causas de la degradación de los suelos son múltiples y las consecuencias adoptan formas específicas y distintos grados de gravedad como la pérdida total del suelo, la pérdida de la capa superficial y los nutrientes en un proceso llamado erosión y que afecta los suelos del todo planeta, lo que resulta en zonas de tierras áridas y su desertificación (cambio irreversible de la tierra a tal estado que ya no puede ser recuperado a su uso originario (FAO 2015)). La contaminación del suelo consiste en cualquier sustancia o energía que se incorpora al complejo edáfico y origina efectos no deseados (Capó-Martí 2002).

Una de las acciones antrópicas más impactantes para los suelos ha sido la actividad de minería que se define como la extracción de minerales valiosos de la corteza terrestre. Los métodos de explotación pueden ser a cielo abierto o subterráneo (Drebenstedt y Singhal 2014). Estos materiales constituyen minerales de construcción e industriales o materias primas energéticas. Es un hecho que la industria minera en muchos países del mundo, pero especialmente en América Latina, representa un pilar importante de la economía, no solamente como una fuente de divisas, sino también como un sector que ofrece muchos puestos de trabajo (Buerstedde et ál. 2012).

El ser humano necesita los recursos mineros en el presente, y los necesitará en el futuro. Sin embargo, las actividades extractivas de minería causan inevitablemente perturbaciones para la región, tanto en aspectos de impacto al medioambiente como el cambio de uso del suelo, la emisión de contaminantes, la sobreexplotación del recurso agua y la modificación del paisaje (los ecosistemas naturales), así como en aspectos socioeconómicos relacionado con el uso potencial de este recurso.

Para minimizar los daños ambientales y/o ecológicos se deben aplicar trabajos de recuperación para restablecer el suelo a un estado aceptable de uso productivo (EPA 2000). El carácter diverso de los sitios o suelos afectados por actividades de minería está relacionado con el

tipo de actividad extractiva que se realizó cuando la mina o cantera estuvo activa. La minería es una actividad temporal, que puede durar desde unos pocos años a varias décadas, determinado por el tamaño y la calidad del depósito mineral que se extrae. Una vez que el recurso mineral se agota, o las operaciones ya no son rentables, inicia la ejecución de los planes del cierre (DGAA 1995). Estos son requeridos por la mayoría de las agencias reguladoras en todo el mundo antes de conceder un permiso de explotación, y deben demostrar que el sitio no representará una amenaza para la salud del medioambiente o de la sociedad en el futuro.

Los sitios con actividades de minería y canteras donde los procesos del cierre y la recuperación no tuvieron lugar o estaban incompletos, se reconocen como minas abandonadas o canteras abandonadas (Fraser Institute 2012). La recuperación de un suelo degradado normalmente implica una serie de actividades tales como: la eliminación de cualquier material peligroso (remediación), la remodelación del mismo, la restauración de la cobertura vegetal y la plantación de pastos nativos, árboles o cobertura del suelo (Heikkinen et ál. 2008). Estas actividades forman parte de los procesos que comprenden el cierre de una mina y se definen también como un plan de recuperación que tiene como objetivo devolver la tierra y los recursos de agua a un nivel aceptable de uso productivo.

En aquellos casos que el suelo está contaminado y requiere una limpieza, existen diferentes tecnologías de tipo físicas, químicas y térmicas disponibles para tratar suelos contaminados, las cuales incluyen excavación y confinamiento, extracción con vapor, estabilización y solidificación, lavado del suelo, precipitación química, vitrificación, deserción térmica y incineración (EPA 2000). Los costos de los métodos convencionales para remediar suelos son relativamente fáciles de estimar (Conesa et ál. 2012). Sin embargo, estas técnicas de ingeniería convencionales puede ser prohibitivamente costosas; además, tienen inconvenientes tales como la generación de altas cantidades de residuos adicionales que requieren su eliminación y no son adecuados para el tratamiento de los suelos que se pretenden volver a utilizar para la agricultura o ganadería. Es por esta razón que los procesos biológicos han despuntado como tecnologías de saneamiento más atractivas, debido a la eliminación parcial o total del contaminante, con la reducción del riesgo asociado y su aceptación social y la factibilidad de reducir costos (Fernández Linares 2013). Actualmente, los métodos biológicos se emplean entre un 15 y un 20% de los casos.

Las técnicas de remediación biológica del suelo comprenden métodos in situ que no requieren la excavación del suelo contaminado y la remediación se puede lograr en el lugar; las técnicas ex situ requieren la excavación y el transporte del suelo contaminado fuera del sitio. Se conoce un amplio número de técnicas biológicas, entre las que más se utilizan actualmente están la bioestimulación, la bioaugmentación, las biopilas, el composteo y los biorreactores (EPA 2010) y comprenden métodos que utilizan microorganismos como bacterias y hongos para la eliminación de contaminantes y se aplican tanto in situ como ex situ. Por otro lado, existen las fitotecnologías (o fitorremediación) que han recibido mucho interés de la comunidad científica, han sido reconocidos como una alternativa menos costosa y ecológica para su aplicación en la remediación de suelos con contaminantes de origen diverso. La

fitorremediación se define como el uso de plantas verdes para extraer, degradar, contener o inmovilizar contaminantes ambientales de origen orgánico o inorgánico en el suelo, agua u otros medios ambientales (EPA 2000, Golubev 2011). Con base en los procesos biológicos básicos (nutrición inorgánica, fotosíntesis, respiración, transpiración, translocación y exudación) de las plantas se pueden describir seis mecanismos o estrategias de fitorremediación que se utilizan en la remediación de contaminantes (Figura 39).

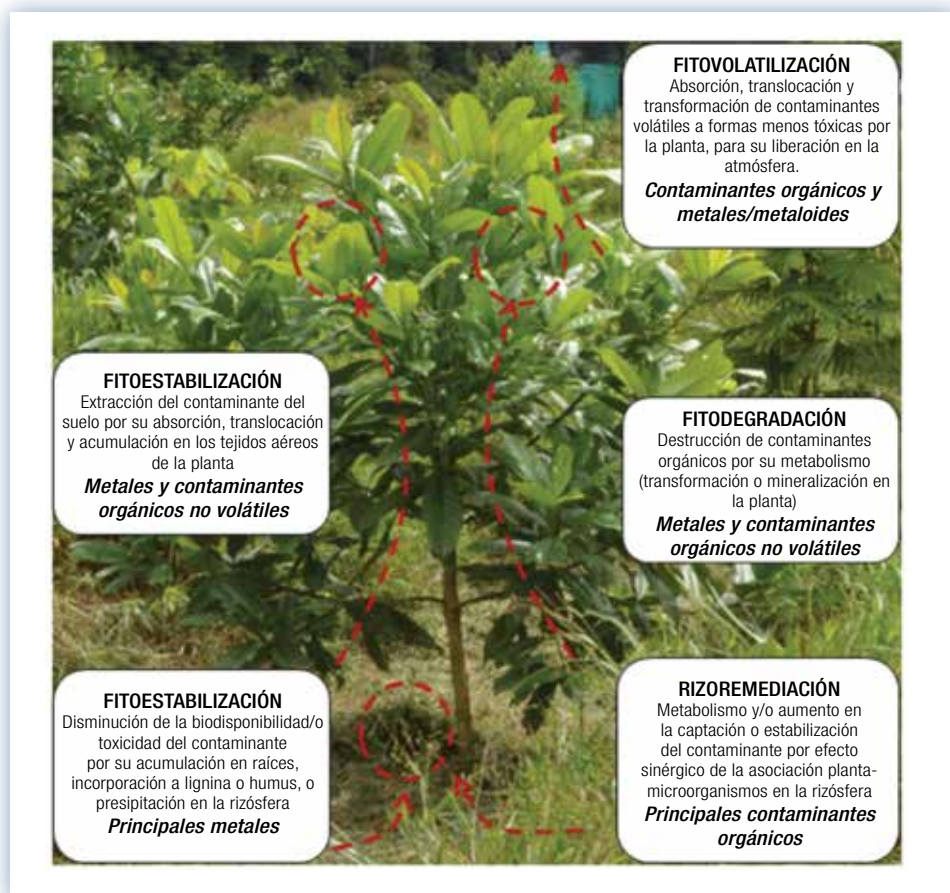


Figura 39. Principales estrategias implicadas en la fitorremediación de suelos, en el sistema suelo-plantas-microorganismos, un contaminante orgánico o inorgánico puede ser transformado, metabolizado y/o acumulado en puntos específicos de dicho sistema (Basado en Peralta-Pérez y Volke-Sepúlveda (2012) con modificaciones de los autores).

Al igual que con todas las estrategias de remediación, las fitotecnologías son específicas del sitio, con aplicabilidad y el rendimiento que puede variar ampliamente con base en parámetros como la contaminación y el tipo de suelo, la vegetación y el clima (EPA 2010). La fitorremediación representa muchas ventajas comparada con otras técnicas de remediación, sin embargo, también hay inconvenientes a la hora de aplicarla (Cuadro 12).

Cuadro 12. Ventajas y limitaciones de las fitotecnologías

Ventajas	
• Es posible un ahorro sustancial en los costos de aplicación. • La mayor aceptación pública puede resultar del uso de un “tecnología verde”, amigable con el ambiente y de una tecnología de bajo costo. • Los costos de operación y mantenimiento son, por lo general, inferiores a los requeridos para los remedios tradicionales (tales como la extracción de vapores del suelo). • La vegetación puede ayudar a reducir o prevenir la erosión y las emisiones de polvo fugitivo. • Las pantas mejoran la calidad del aire y secuestran gases de efecto invernadero. • Las plantas pueden mejorar la estética del lugar (aspecto visual y ruido). • La estructura del suelo del sitio y la fertilidad no se ven afectados negativamente (y probablemente se mejoran). • La remediación puede ser aplicable en ubicaciones remotas. • Las fitotecnologías se pueden combinar con otros objetivos de la restauración o mitigación, tales como una cubierta de vegetación o la creación de diversidad ecológica. • Potencial para crear un nuevo hábitat o complementar un hábitat existente. • Las etapas finales de un proyecto donde se usan fitotecnologías pueden proporcionar un activo para la reutilización de la tierra / restauración al finalizar.	
Limitaciones	
• Las fitotecnologías pueden ser inadecuadas para los sitios con una contaminación a profundidades significativas debido a que las raíces de las plantas poseen una distribución poco profunda. • La fitorremediación pueden durar un período de tiempo más largo que algunas tecnologías convencionales (lavado del suelo, incineración y vitrificación) pero que son más costosas. La aplicación de algunas de estas tecnologías puede incluir métodos invasivos que interfieren en el ecosistema para lograr los objetivos de la recuperación. • El requerimiento de grandes extensiones de tierra puede ser necesaria para un tratamiento eficaz en algunas situaciones. • Las concentraciones altas de contaminantes iniciales en un sitio, pueden resultar fitotóxico e inhibir o evitar el crecimiento de la planta. • Las prácticas de cultivo pueden ejercer efectos no deseados sobre la movilidad de contaminantes. • El cultivo de la vegetación puede ser más difícil en condiciones adversas del suelo o agua subterránea contaminada. • El crecimiento de las plantas y la remediación asociada no pueden ocurrir durante la temporada de invierno o época seca. • Un análisis de riesgo puede ser necesario antes de la eliminación de cualquier material vegetal contaminado. • Potencial para crear nuevas vías de destino y transporte que nunca han existido en el lugar antes de la aplicación de una determinada fitotecnología debido a la creación de hábitats. • Muestreo y análisis de tejidos vegetales pueden ser necesarios para verificar la transferencia de contaminantes que se producen dentro de la planta.	

Fuente: Basado en ITRC (2009) y EPA (2010).

Por lo tanto, la fitorremediación se aplica mejor en lugares con una contaminación superficial con un grado leve a moderada de materia orgánica, nutrientes, o la contaminación por metales. Es muy adecuado su uso en sitios donde la degradación se ha manifestado en grandes extensiones de terreno, donde otros métodos de remediación no son rentables o poco practicables (Schnoor 1997). En este sentido, las fitotecnologías por su eficacia en la remediación de suelos mineros, son las técnicas de la fitoextracción y la fitoestabilización (Kadukova y Kalulicova 2010). La fitoextracción implica la absorción de contaminantes por las raíces de las plantas, con la posterior acumulación en tejido de la planta (hojas, tallos y raíces), lo que puede implicar o requerir que la planta sea cosechada y debidamente desechada. Este mecanismo se utiliza normalmente para tratar contaminantes inorgánicos, tales como metales, metaloides y radionúclidos (Salt et ál. 1998). La fitoestabilización es un método que se utiliza cuando otros métodos, generalmente la fitoextracción duraría mucho tiempo u otro tratamiento alternativo no es disponible (Kadukova y Kalucova 2010), comprende una forma especial de estabilizar los contaminantes (metales) especialmente en suelos degradados

que carecen de cobertura vegetal, lo cual aumenta las posibilidades de escorrentías y, como consecuencias, el arrastre de los contaminantes a otros medios (Hernández y Pastor 2008). Las plantas que se utilizan en las técnicas de la fitoestabilización, contrario a las plantas con fines de la extracción, deben ser tolerantes a los metales pesados y reducir su movilidad por absorción y almacenamiento en las raíces, además aportan al mejoramiento de las condiciones físico químicas y biológicas del suelo y su protección física frente a la erosión eólica o hídrica (Wong 2003; Méndez y Maier 2008).

Otras actividades de la recuperación de suelos mineros constituyen su restauración en la reconstrucción de la morfología y las características del sitio después de la intervención minera (creación de huecos). Generalmente estas acciones buscan como uso final el agrícola o forestal, pero otras alternativas pueden contemplar un uso recreacional como restitución para zonas urbanas o industriales o una combinación entre diversas opciones (ANEFA 2006). En aquellos casos donde las extracciones han llegado a un nivel de degradación máxima y la reconversión del ecosistema se torne una práctica costosa y ecológicamente no viable, se puede tratar de convertir en zona de humedales o lagunas, lo que permite transformar el sitio en un ecosistema nuevo y con otros atributos ecológicos (Bradshaw 1997).

La remodelación del terreno debe ser seguido por actividades de revegetación que implica el uso de plantas para iniciar procesos de un ecosistema estable y autosuficiente como el que existía antes que comenzara la minería. Una restauración completa que por definición significa “volver a poner una cosa en el estado que antes tenía”, puede ser imposible, por lo que la rehabilitación y recuperación puede resultar en el oportuno establecimiento de un ecosistema funcional (ANEFA 2006).

2.3.1 Objetivos de la recuperación de suelos mineros y canteras

La meta de la recuperación de suelos impactados por actividades mineras o extracción de materiales en canteras debe ser siempre el retorno, lo más parecido posible, a las condiciones ambientales y ecológicas previas a la existencia de la mina o cantera. Las estrategias de recuperación de estos suelos buscan, en primer lugar, reducir el número de sitios contaminados para disminuir los riesgos a la salud humana y a los ecosistemas, y reintegrar los sitios descontaminados como áreas cultivables o urbanas que garantice las condiciones de vida sin riesgo para la salud. En los casos donde la eliminación de los contaminantes no sea posible, la tecnología busca reducir el riesgo, limitar la exposición del contaminante, proceso también llamado estabilización (Vangronsveld et ál. 2009).

2.3.2 Selección de sitios por recuperar

Existen muchos tipos de actividades mineras y extracción de canteras, dependiendo de los minerales aprovechados (metales, carbón, petróleo de esquisto bituminoso, piedras preciosas, piedra caliza, piedra de fábrica, sal de roca, potasa, grava y arcilla). Las actividades se desarrollan a cielo abierto, en la superficie o en forma subterránea. La secuencia general de las actividades de la minería moderna se constituyen general-

mente en cinco etapas: la prospección, la exploración, el desarrollo, la explotación, y la recuperación.

La prospección y la exploración son procesos vinculados y son precursores de la minería actual. El desarrollo y la explotación son etapas también estrechamente relacionadas y se consideran, por lo general, para constituir la minería adecuada. Los procesos de la recuperación se han agregado a estas etapas y comprenden el cierre y la recuperación de la mina o cantera; ambos se han convertido en una parte necesaria del ciclo de vida de una mina o cantera, debido a las demandas de la sociedad para un medioambiente más limpio y leyes más estrictas que regulan el abandono de una mina (Hartman y Mutmansky 2002).

Independientemente de la naturaleza de los procesos, toda minería o extracción de cantera crea un potencial impacto negativo sobre el medioambiente, tanto durante las operaciones de extracción como después de que la mina o cantera ha sido cerrada. Las consecuencias ambientales pueden involucrar un proceso de deforestación masiva, con la consecuente pérdida de cobertura vegetal, erosión del suelo y formación de terrenos inestables (PNUMA 2010).

Entre los aspectos por considerar para la selección de sitios para su recuperación se encuentran los siguientes:

- Sitios que todavía presentan áreas contaminadas que requieren una limpieza de los contaminantes a niveles seguros. Según el grado y tipo de contaminación existen diversas tecnologías de remediación que incluyen tanto métodos físicos, químicos como biológicos. La remediación es un proceso que involucra a personal competente y a los expertos que determinan los procedimientos más eficaces para solucionar el problema y restaurar los daños causados por la contaminación.
- Sitios que presentan áreas de poca estabilización física del terreno que requieren un plan de recuperación con el propósito de poder hacer uso del suelo.
- Sitios que presentan áreas que permiten ser restaurados; se refiere al proceso de reconstrucción del ecosistema que existía en el lugar de la mina antes de ser perturbado. La ciencia de la recuperación de minas o canteras han evolucionado a partir de las actividades de revegetación como una disciplina que implica el uso de plantas nativas para imitar el desarrollo del ecosistema natural durante un período prolongado de tiempo.
- Sitios que permiten el establecimiento de un ecosistema estable y autosuficiente, pero no necesariamente el que existía antes de que comenzara la minería. En estos casos la restauración completa puede ser imposible; sin embargo, las actividades de la remediación, la recuperación, la restauración y la rehabilitación pueden resultar en el establecimiento de un ecosistema funcional.
- Sitios que están en proceso de regeneración natural, sin embargo, existen muchas limitantes para que la sucesión vegetal logre su recuperación en períodos cortos de tiempo.

- Sitios que no han respondido a una restauración pasiva por procesos naturales y donde algunas actuaciones de revegetación con especies de flora nativa no han tenido éxito, debido a la alta contaminación, comprobado por la presencia de metales pesados. En estos casos las especies sembradas o autóctonas no son tolerantes y no han desarrollado resistencia o adaptabilidad a los contaminantes.

2.3.3 Técnicas de implementación

Idealmente, una vez finalizadas las acciones de recuperación, deben ser implementadas lo antes posible de las actividades de minería, con el fin de reducir los impactos ambientales, específicamente los procesos de erosión causados por el agua en zonas tropicales húmedas, así como la erosión eólica en zonas áridas. Además, en la medida de lo posible en todos los sitios afectados se deben recuperar las condiciones naturales del paisaje o que puedan estar en condición de mantener los usos que tenían antes del inicio de la actividad minera o una condición alternativa similar, o mejor, a la que existía antes de estas operaciones. Por lo tanto, la recuperación es un proceso que debe ser planteado en el diseño de una extracción minera desde sus primeras fases de apertura y operación.

En muchos países, la legislación minera obliga a que todas las actividades extractivas realicen trabajos de restauración y establezcan las garantías legales necesarias para asegurar que lo dispuesto en los planes de restauración y/o rehabilitación respectivos sean llevados a la práctica. Cuando se utiliza el término restauración del terreno (sitio impactado por la minería) se debe tomar en cuenta que su significado implícito según el Diccionario de la Real Academia Española, es: “volver a poner una cosa en el estado que antes tenía”; sin embargo, se sabe que la actividad minera implica la extracción de recursos naturales con la consecuencia de alojar grandes áreas con depresiones (huecos) y, por lo tanto, los trabajos de recuperación no pueden devolver esos terrenos a su condición inicial, especialmente, lo relacionado con la morfología y características del terreno, así como la inevitable pérdida de las capas del suelo y la vegetación (ANEFA 2007).

De acuerdo con Aramburu et ál. (1990), “la recuperación, restauración o rehabilitación son palabras que, aunque etimológicamente tengan diferentes significados, se emplean indistintamente para describir los procesos con los que se pretende mejorar tierras degradadas o alteradas. La forma e intensidad del proceso de restauración dependerá del tipo de actuación que se haya ejercido sobre el medio natural provocando problemas de excesiva compactación por el uso de maquinaria pesada, grandes acumulaciones de materiales estériles, ausencia de materia orgánica y nutrientes, inestabilidad de las capas superficiales, etc. El principio general de una restauración debe ser recuperar la calidad original del medio teniendo presente la interdependencia que existe entre vegetación, suelo, clima, fauna y ser humano. Su completa interacción define el ecosistema autocontrolado que se pretende alcanzar”.

Los trabajos de recuperación se basan fundamentalmente en el remodelado de formas y la rehabilitación de una cubierta vegetal. Para lograr que se establezca la vegetación es

imprescindible crear y preparar un suelo capaz de acoger las especies elegidas para cada actuación. En el caso de que los análisis del suelo detecten una contaminación, la remediación de estos sitios contaminados serán necesarios ya que en casos severos de contaminación inhiben el crecimiento de las plantas, además podría implicar un riesgo de salud para el humano y el ecosistema. En casos de una contaminación leve a moderada, el uso de plantas podría ser el método seleccionado como una técnica adecuada de remediación y a la vez iniciar los procesos de la revegetación del suelo. Por lo tanto, una caracterización del sitio que incluye tanto la evaluación del daño como la información sobre sus recursos ambientales es muy importante, ya que permitirá planear las medidas de limpieza y la recuperación de los suelos.

A continuación se describe el plan de trabajo para la recuperación de un suelo degradado por minería o canteras de explotación a cielo abierto que fue abandonado sin ser sometido a un proceso de cierre adecuado. Esta información está basada en lo propuesto por los siguientes autores y autoridades que plantean diferentes procedimientos para la restauración de sitios de uso en minerías y canteras (tajos): DGAA (1995a); DGAA (1995b); Bradshaw (1997); ANEFA (2006); UICN (2009) y EPA (2009).

1. Algunas consideraciones necesarias sobre la caracterización del sitio por recuperar

Cada intento o plan de recuperación de un sitio en condiciones alteradas debe iniciar con su caracterización general. Describirá los recursos ambientales del sitio para obtener información básica importante y necesaria para desarrollar un plan de revegetación. Como mínimo, estos recursos deben incluir el clima, el suelo y la vegetación (DGAA 1995a).

a. Información climatológica

La información sobre el clima es importante porque definirá las condiciones de crecimiento de la planta y el momento adecuado para las actividades de revegetación, y los posibles problemas que se pueden generar de erosión hídrica y, por lo tanto, debe incluir los siguientes datos:

- Promedio mensual de precipitación pluvial.
- Temperaturas promedio (máxima, media y mínima) en el área de la concesión minera o tajos (períodos de épocas secas y lluvias).
- Dirección predominante del viento, velocidad de viento.

b. Información sobre el recurso suelo

Se debe realizar una investigación del suelo en todas las áreas disturbadas por las actividades de minería. En el caso de que no haya información histórica sobre el sitio por recuperar, el análisis completo debe incluir datos sobre aspectos contaminantes, geológicos e hidrológicos. Esta evaluación es esencial para determinar las condiciones básicas, las condiciones tóxicas y el potencial para la remoción del contaminante y así cumplir con los objetivos del tratamiento (Tsao 2003). Otro propósito de esta investigación, es

que ayuda a la identificación y recuperación del material apropiado de la capa superficial del suelo que hubo antes en el sitio. La información a levantar debe incluir también un análisis de todos los horizontes del suelo, para cada tipo predominante. Deben ser analizados en un laboratorio que utilice procedimientos estándares de análisis de suelos. Existen guías y manuales que proporcionan los métodos por seguir para las técnicas de muestreo y su análisis.

La caracterización de suelos implica el análisis de parámetros básicos para poder dar seguimiento a la elaboración de un plan para su uso posterior. Especialmente en el caso de una contaminación se requieren los conocimientos de varios parámetros para definir el proceso de remediación de los suelos contaminados.

Los parámetros para el análisis de suelos deben incluir la profundidad del horizonte, el pH, el porcentaje de materia orgánica, la conductividad eléctrica, la salinidad, la tasa de adsorción de sodio, porcentaje de saturación, la textura (% de arena, limo y arcilla) y el análisis del tamaño de las partículas (textura). También se determinan los contenidos de nutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), para identificar si el suelo requiere de la aplicación de fertilizantes. Este tipo de análisis es fundamental ya que permitirá la elaboración de un plan óptimo de fertilización. Para descartar la presencia de metales pesados se debe realizar un análisis adicional del contenido de estos elementos.

Las investigaciones de un sitio típicamente implican muestreos de suelos y aguas subterráneas utilizando diversas tecnologías de instalación de perforación y pozos, con análisis de muestras en laboratorios fuera del sitio. Para la correcta ejecución del muestreo se recomiendan consultar los siguientes manuales/guías para una revisión más detallada:

- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2013. Guía para muestreo de suelos. Vice Ministerio de Gestión Ambiental, Dirección General de Calidad Ambiental. Decreto Supremo N° 002-2013 MINAM (Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo), Lima, Perú 39 pp. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO-MINAM1.pdf>
- Luis Carlos Fernández Linares, L.C., Rojas Avelizapa, N.G., Roldán, T.G. Carrillo, Ramírez Islas, M.E., Zegarra Martínez, H.G., Uribe Hernández, R., Reyes Ávila, R.J., Flores Hernández, D. y J.M. Arce Ortega. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México DF, México 184 pp.

c. Verificación de posibles agentes de contaminación en el suelo

Además de la búsqueda de datos históricos e información por recuperar, las siguientes preguntas y acciones en la Figura 40, aportarán a la caracterización del sitio por recuperar:



Figura 40. Diagrama que muestra la secuencia de pasos por seguir para la caracterización del sitio por restaurar, basado en EPA (2009).

Fuente: EPA (2009).

d. Información sobre la vegetación existente

Si no existe un mapa sobre la vegetación que describa las comunidades de plantas en el sitio, antes de que iniciaran las actividades mineras, se puede tomar la distribución de las especies de un ecosistema referencia. A través de la revisión de documentos y de entrevistas con referentes calificados, se podrá obtener información sobre el tipo de vegetación existente anteriormente, las especies dominantes, la cobertura vegetal y si hubo alguna actividad de producción, por ejemplo, de plantas leñosas. Toda esta información debe usarse para identificar especies de plantas apropiadas para la revegetación y proporcionar importante información base para establecer los estándares para el éxito de la revegetación. En aquellos casos donde el sitio por restaurar esté cerca de fragmentos de bosques, se puede tomar la información y utilizarlos como ecosistemas referencia para la selección de las especies.

2. Recuperación de la capa superficial del suelo

La regeneración natural o espontánea de los sitios mineros o canteras, en general, es muy lenta, especialmente cuando la presencia de plantas es muy baja o nula, ya que no hay un aporte que ayude a la formación del suelo. En la mayoría de los casos la vegetación presente

es escasa y baja, por lo tanto, no favorece el desarrollo de un microclima para el establecimiento rápido de una cobertura vegetal y la reconstrucción del suelo se vuelve una limitante para el establecimiento de la vegetación. Por esta razón, las estrategias de recuperación abarcan no solo el mejoramiento artificial del sustrato sino también del microclima, lo cual incluye:

- Manejo físico del terreno, para equilibrar las condiciones de pendientes de los taludes presentes y prácticas de conservación de suelos.
- Introducción de materia orgánica, compostajes, etc.
- Traslado de capas de suelo de otros sitios naturales.
- Agregación de enmiendas por fertilizantes.
- Integración de la flora microbiana de suelo en forma de diversos microorganismos (hongos, bacterias) y lombrices para restablecer la actividad biológica del suelo.

3. Adecuación física de la superficie del suelo/terreno

Las actividades de recuperación física del suelo/terreno comprenden la estabilización física del terreno lo que incluye trabajos de nivelación o gradeo de la superficie. El fin de estas actividades es el acondicionamiento de la superficie para conseguir una topografía apropiada que permitirá, entre otros, el uso agrícola y el restablecimiento de las condiciones naturales anteriores. Pendientes fuertes afectan el restablecimiento de la vegetación y, por lo tanto, requieren especial atención en cuanto a la preparación de estos sitios y la selección de las especies que se utilizarán para la revegetación. El control de las pendientes de los taludes será necesario para implementar otras técnicas de recuperación de suelos.

4. Recuperación físico-química y biológica del suelo

El éxito de la recuperación de un suelo degradado depende en un alto grado del restablecimiento de sus características físicas, químicas y biológicas. Debido a que un suelo sin la cobertura vegetal sufre en poco tiempo las consecuencias de la exposición a agentes erosivos (viento y agua), lo recomendable es trabajar lo más pronto posible para disminuir el tiempo de exposición. Dentro de las afectaciones físicas más importantes que pueden degradar un suelo se encuentran la compactación, la falta de estabilidad y el exceso o falta de agua. A continuación se plantean los diferentes escenarios que se buscan con la recuperación físico-química y biológica del suelo y sus posibles soluciones:

a. Suelos compactados

Problema: en los sitios mineros la compactación del suelo es prácticamente inevitable, debido a la instalación de edificios, vías de comunicación, y zonas de carga y descarga que implican la circulación de maquinaria pesada. Además, en algunos casos, la capa superior del suelo se elimina por completo y nunca se reconstituye. La densidad alta de estos suelos reduce tanto el enraizamiento de las plantas, como su crecimiento. La infiltración del agua en el suelo se ve afectada por el arrastre de partículas. Otro problema que se debe controlar es la escorrentía superficial por su consecuente erosión.

Soluciones: las acciones que solucionan la compactación del suelo son prácticas que mejoran las propiedades físicas del suelo como el arado, la roturación, etc., favorecen la infiltración del agua, mejoran el contacto entre la tierra vegetal y el terreno y evitan su deslizamiento. En el caso de que el suelo carezca de las capas superiores (horizonte A y B), además de las prácticas anteriormente mencionadas, se debe importar suelo para sustituir la parte fértil aunque el suelo introducido requiera acciones que mejoren su estructura.

b. Suelos inestables

Problema: la estabilidad del suelo consiste en los agregados del suelo, compuestos de dos o más partículas primarias unidas y su organización constitutivas. Tanto el contenido de arcilla, de óxidos, como el de material orgánico, están totalmente correlacionados con la formación y estabilidad del agregado. Suelos con una textura fina (arena fina) o con alteraciones de sus agregados están sujetos a la erosión superficial por efecto del viento y del agua. Dado que estos procesos no siempre se contralan fácilmente, la recuperación de la cobertura vegetal se debe lograr lo antes posible. Una vez logrado, los problemas de la erosión desaparecen (Bradshaw 1997), sin embargo, la dificultad se basa en mantener la estabilidad del suelo durante el período de establecimiento de la vegetación.

Soluciones: la estabilidad de los agregados se logra con el establecimiento de la cobertura vegetal. Si prevalecen problemas de inestabilidad durante el proceso de crecimiento de las plantas, se debe reducir la infiltración con la aplicación de materia orgánica. Una forma sencilla es usar, junto con la siembra, una capa de “mulch” que consiste en una capa, generalmente de naturaleza orgánica, como paja gruesa. Esta capa ayuda a conservar la humedad (evita la evaporación), reduce la erosión eólica e hídrica (disminuye el efecto del agua de las escorrentías), controla el contraste de temperaturas y, en general, mantiene la fertilidad y la salud del suelo. El “mulch” se emplea en la superficie del sitio inmediatamente después de la siembra; en casos muy severos puede ser necesaria la ayuda de un arado de discos para mezclar el material con el suelo.

c. Suelos con excesos o deficiencias hídricas

Problema: tanto el exceso como la falta del agua puede causar problema para el suelo. En el caso del exceso hídrico, la saturación del suelo evita una buena aireación y como consecuencia se mueren las plantas. Las deficiencias hídricas requieren acciones que implican la conservación prolongada de la humedad en el suelo, la elaboración de un plan de siembra adaptado a las condiciones prevalentes de clima y una selección de especies tolerantes a la sequía.

Soluciones: en algunos casos, dada la deformación del relieve debido a grandes depresiones, la **creación de lagunas** es una técnica que se adapta a aquellos sitios donde existen acumulaciones superficiales de agua, resultado de un deficiente drenaje y nivelación durante la explotación. Se puede evaluar la posibilidad de utilizarlas como reservorios de agua en la época de sequía, o más bien, considerar su uso con fines productivos, por ejemplo, para la piscicultura. Desde el punto de vista de la conservación, las zonas húmedas suponen uno de los ecosis-

temas más ricos en biodiversidad y a la vez uno de los más amenazados del planeta (ANEFA 2006); la contribución que hacen a la diversificación biológica es significativa, por lo tanto, debe ser evaluada como una opción de la integración paisajista de un sitio explotado, según el caso.

En otros casos, la **instalación de sistemas de control del agua superficial por drenaje** se realizan si existe la necesidad de recuperar estos sitios. El establecimiento de drenajes, tanto superficiales como subsuperficiales, será necesario dado que la erosión hídrica puede implicar el desgaste total tanto de la superficie rocosa como de la parte del suelo. Por lo tanto, la combinación de las labores de control de erosión y las actividades de la revegetación tendrá un valor agregado, tanto en la eliminación de la causa de erosión, como en su prevención. Para conseguirlo, los trabajos ingenieriles que pueden incluir la remodelación parcial de la superficie del sitio, la construcción de terraplenes para el control de los flujo del agua, la corrección de pendientes importantes y la construcción de drenajes que desvían el exceso de agua, se deben planificar con el conocimiento de obras de conservación de suelos y aguas.

d. Suelos de baja de fertilidad, deficiencias de nutrientes y regulación del pH

Problema: los suelos mineros, en general, no tienen las características físicas y químicas apropiadas para el desarrollo vegetal, sobre todo si el sitio tiene muchos años de abandono y todavía no se puede ver el restablecimiento de plantas. Sin embargo, es importante reiterar que la caracterización del sitio y los análisis del suelo son actividades o medidas indispensables para obtener información, no solamente sobre el estado físico del suelo, sino también sobre su estado de fertilidad y contenido de nutrientes para descartar deficiencias nutricionales importantes y asegurar la elección de acciones correctivas que permitan la revegetación. Generalmente las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) son comunes en las tierras disturbadas por minería o canteras, sin embargo, esto depende también del sitio y la región y, en todo caso, requiere una verificación mediante el análisis del suelo.

Las deficiencias de nitrógeno pueden ser el resultado de los bajos niveles de nitrógeno disponible para la planta, debido a la falta de microorganismos que convierten este elemento en los compuestos nitrogenados que las plantas absorben. Las deficiencias de fósforo suceden principalmente debido a la insolubilidad del fósforo y su fijación por minerales arcillosos en el suelo. Para que la planta pueda acceder a las cantidades adecuadas de fósforo, el sistema radicular debe ser lo suficiente desarrollado, de lo contrario, la planta tendrá dificultad durante el período de establecimiento. Cuando se trata de problemas de deficiencias nutricionales del suelo, uno de los parámetros más importantes que se debe conocer es el pH. Los diferentes valores del pH se utilizan como una medida de la acidez o alcalinidad, con ello se controlan muchos procesos químicos, especialmente los que se relacionan con la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Si los valores del pH no se encuentran dentro de un rango óptimo (5,5 y 7,0), la absorción de muchos elementos se puede dificultar para la planta o, de lo contrario, algunos elementos que están más accesibles resultan tóxicos debido a su disponibilidad y/o cantidad elevada.

Soluciones: una vez comprobada alguna deficiencia importante de nutrientes principales en el suelo, se deben iniciar acciones tanto de aplicación de fertilizantes como mejoras edáficas que lo preparen para la siembra. Los procesos naturales pueden superar deficiencias nutricionales leves, por lo tanto, se deben considerar especialmente en los casos donde el tiempo no es un factor limitante, sin embargo, la disponibilidad de recursos económicos, sí. En algunos casos la aplicación única de fertilizantes inorgánicos u orgánicos pueden solucionar el problema. Asimismo, se puede practicar la fertilización de manera dirigida y aplicar solamente aquellos elementos que hacen falta. Además de los fertilizantes inorgánicos existen los fertilizantes de origen orgánico que comprenden el abono que proviene de animales (estiércol), humanos (lodos de plantas de tratamiento), restos vegetales de alimentos (lombri-cultura, compost) u otra fuente orgánica y natural.

El uso de enmiendas de materia orgánica es una práctica utilizada comúnmente y no solamente aporta nutrientes al suelo, sino que también acelera el proceso de formación del suelo con el restablecimiento de su ciclo biológico. De tal manera, la incorporación de materia orgánica y su posterior descomposición, favorecerá la supervivencia de microorganismos que son necesarios para mantener la fertilidad. Toda aplicación de enmiendas de origen orgánico debe ser evaluado, según criterios que consideren: que existe una fuente de recurso, disponibilidad de la cantidad necesaria, precio, seguridad, ya que algunas materias pueden estar contaminadas según su origen, por ejemplo, en el caso de los lodos.

En tierras degradadas, el nitrógeno frecuentemente es un factor limitante y la adición de fertilizantes nitrogenados se convierte en una práctica común para asegurar el establecimiento y crecimiento de las plantas. En el caso de que la falta de nitrógeno no se pueda solucionar con la aplicación de fertilizantes, por la cantidad que se debe utilizar, no se justifica económicamente. Una práctica alternativa es sembrar plantas herbáceas (gramíneas o legumbres), arbustos o árboles fijadores de nitrógeno, que por experiencia tienen un efecto muy positivo en la fertilidad del suelo. Lo recomendable es utilizar plantas locales para asegurar la adaptabilidad a las condiciones climáticas y edáficas y superar los problemas de accesibilidad a las semillas.

Para ajustar el pH ácido en sitios con suelos con el pH bajo, lo más común es la incorporación de enmiendas calizas (cal viva o carbonato de calcio) a 15 cm de profundidad en el suelo. Los efectos de la aplicación no solamente aumentarán la disponibilidad de nutrientes y eficacia de los fertilizantes, sino también la cantidad de calcio y nitrógeno y favorecerán la descomposición de la materia orgánica en el suelo.

En los sitios constituidos por rocas básicas, en el caso de las mineras a cielo abierto de piedra caliza, los suelos pueden tener problemas de alcalinidad alta, lo que implica desarrollar acciones para neutralizarlo, por ejemplo, con la aplicación de materia orgánica (estiércol o suelo natural).

5. Recuperación de la cobertura vegetal de suelos mineros y canteras

Es importante reiterar que la adecuada preparación del terreno es una necesidad para que las actividades de la rehabilitación sean exitosas. En resumen esto incluye: el control del drenaje para evitar/reducir la erosión hídrica, la preparación del terreno/suelo en términos físicos, físico-químicos y biológicos, la siembra de la plantas y su cuidado (fertilización, abono, riego y protección).

Las técnicas utilizadas para la rehabilitación variarán y se seleccionarán según las necesidades del sitio. En los casos más extremos, donde no existe ninguna vegetación natural o previa, la sucesión natural de la vegetación local no ocurrirá por su propia voluntad sino que requiere de acciones que permitan un refuerzo para acelerar su recuperación (sucesión asistida con técnicas de nucleación) o introducción de plantas a través de la revegetación.

a. Sucesión asistida a través de técnicas de nucleación para suelos de minas o canteras

La sucesión asistida se utilizará en aquellos sitios donde el potencial de la regeneración natural es baja o nula, en especial por la pérdida de la capa orgánica del suelo y el grado de alteración y deterioro que ha sufrido el ecosistema, por lo cual la fuente de propágulos por semillas o rebrotes es baja o inexistente. Es importante recalcar la importancia de la estabilización y recuperación del suelo antes de implementar estas acciones. El acápite 1.1.3 y 2.1.1.3, explican los fundamentos técnicos y ecológicos del empleo de estas técnicas, por lo que se recomienda su revisión para una mejor comprensión del tema.

Actuaciones para implementar

I. Perchas artificiales

Esta técnica utiliza trozos de madera (postes, ramas, varas de bambú, entre otros) que sirven de perchas para aves y murciélagos.

II. Siembra directa de semillas

Consiste en la introducción de semillas de especies arbóreas directamente en el área por ser restaurada, en núcleos que permite la regeneración asistida.

III. Siembra de plantas en grupos de Anderson de especies funcionales

La siembra de árboles en grupos de Anderson (Anderson 1953) es una técnica que busca incrementar la diversidad interna de los fragmentos desprovistos de vegetación en las áreas de restauración.

IV. Transposición de suelos

Esta técnica tiene como objetivo restablecer proporciones de suelo, uno de los componentes más importantes en los ecosistemas que favorece la regeneración.

V. Formación de refugios artificiales (madrigueras)

En las áreas abiertas se da una alta exposición de los animales a sus predadores, con la construcción de refugios artificiales (madrigueras) se busca ofrecer un abrigo seguro para la

fauna y así aumentar la frecuencia y permanencia de visitantes (roedores, reptiles, anfibios, etc.).

VI. Lluvia de semillas por transposición o búsqueda en otras fuentes

Esta técnica consiste en facilitar el proceso de regeneración a través de la transposición e introducción de semillas.

VII. Establecimiento en campo de las técnicas de nucleación

Es recomendable la combinación de estas técnicas pues permiten una integración entre los diferentes potenciadores de la regeneración natural, promueven todos los componentes que cada una de las técnicas fomenta para acelerar los procesos de sucesión natural, fomentan la funcionalidad y potencian el éxito. Como guía de campo para distribuir las técnicas de nucleación se puede seguir lo recomendado en el Cuadro 13 y la Figura 41.

Cuadro 13. Descripción y simbología de las técnicas de nucleación por utilizar en la sucesión asistida en sitios de minas o canteras

Técnica de nucleación	Densidad (ha) combinadas	Densidad (ha) individual	Símbolo
Perchas	5	30	
Siembra directa de semillas	5	30	
Plántulas en grupos de Anderson	5	30	
Transposición de suelos	5	30	
Refugios artificiales	5	30	
Lluvia de semillas	5	30	

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

b. Revegetación

Uno de los problemas más persistentes en la restauración de minas o canteras es el restablecimiento de la vegetación, la cual juega un importante papel en el control de la erosión, la estabilización y la integración ecológica y paisajística. La revegetación es una actividad donde se planta una o pocas especies vegetales y tiene como principal objetivo acelerar el proceso de sucesión natural y la restauración de los suelos degradados y desprovistos de vegetación.

I. Selección de las plantas

Para el restablecimiento de la vegetación en suelos que requieren acciones rápidas, en el caso de sitios que están altamente afectados por erosión, la mejor protección se logra a través de la cobertura con plantas. Con la necesidad de que la superficie se “cierre”, en el menor tiempo posible, deben ser seleccionadas especies de rápido crecimiento. Las

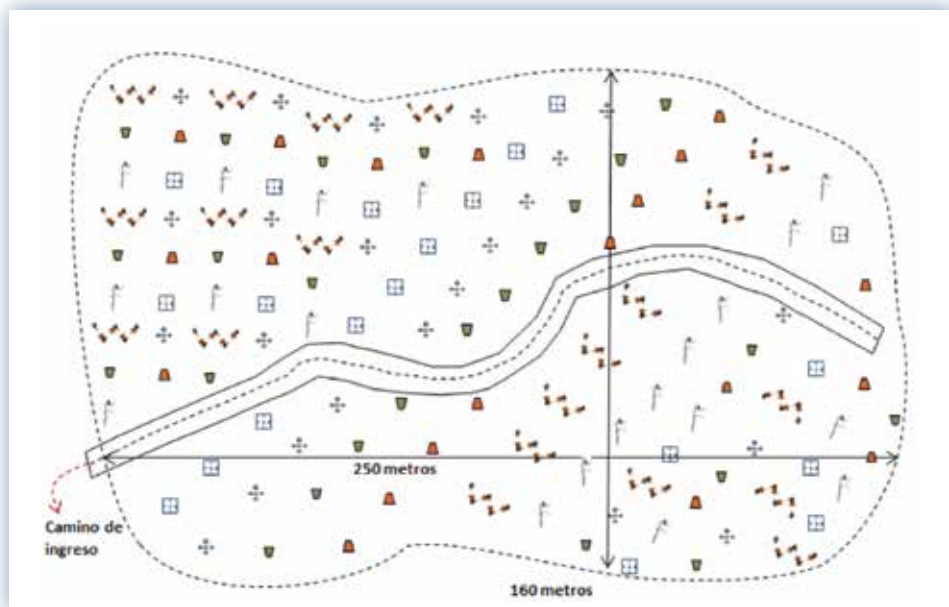


Figura 41. Representación esquemática de la distribución de las técnicas de nucleación en sitio de minas o canteras para cuatro hectáreas.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

plantas ayudarán tanto con la estabilización de la capa superficial, como con promover y mantener el desarrollo de la biomasa microbiana del suelo. El mantenimiento de esta población microbiana ayudará a establecer una comunidad de plantas diferente a la que se desea sembrar como vegetación permanente en el sitio.

Antes de desarrollar un plan de revegetación se debe determinar el uso que se desea dar a las tierras. En el caso ideal, el uso posterior de las tierras se determinó antes de comenzar las operaciones mineras, sin embargo, si se trata de sitios mineros abandonados sin plan de cierre, la situación requiere la elaboración de un plan que busque la asignación de uso más adecuado para las tierras del sitio. La definición del uso de la tierra dictará el tipo de revegetación seleccionada y proporcionará una guía general, así como las prácticas de revegetación específicas que se seguirán.

La selección de las especies para sembrar debe concentrarse en las especies nativas/locales ya que están adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas, poseen un mayor valor ecológico y una mejor integración en el paisaje, frente a otras especies comerciales usadas habitualmente. Además, es más probable la disponibilidad (en términos de cantidad y constancia durante el año) de semillas o plántulas.

Las especies deben poseer las siguientes características morfológicas y ecofisiológicas según los criterios para la selección de especies vegetales en el establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (Rondón y Vidal 2005):

- Follaje grande y fuerte.
- Propagación sencilla y rápida.
- Sistema radicular profundo.
- Rápido crecimiento.
- Resistencia contra la sedimentación.
- Preferiblemente especies autóctonas.
- Especies rústicas (pioneras, invasoras), poco exigentes a la calidad de sitio.
- Que requieran mínimas labores de mantenimiento, como riego, aplicación de fertilizantes, limpieza, podas. etc.
- Resistencia a las plagas y enfermedades.
- Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios.
- Que sean poco palatable (apetecidas por el ganado).
- En algunos casos de acuerdo con las circunstancias, que ofrezcan alguna utilidad a la comunidades.

Aun así, en las fases iniciales de la revegetación pueden emplearse, de acuerdo con las necesidades, especies exóticas de naturaleza efímera (gramíneas como el *rye grass*; leguminosas como el “trébol”) que permitan una rápida revegetación de las zonas afectadas. Cuando los suelos sean más estables, se efectuará una siembra mixta de especies de tipo gramíneas (exóticas y locales). Para las siguientes fases de la revegetación se utilizarán especies nativas.

II. Siembra

En el caso de que el suelo no contenga semillas de la vegetación natural anterior por carecer del sustrato suelo, o que el suelo o materia orgánica que se aplica durante los trabajos de la preparación del sitio posee limitaciones de propágulos, es necesario sembrar las plantas para lograr la revegetación. También en sitios donde la vegetación natural no alcanza a cubrir completamente la superficie, será necesaria la propagación mediante la siembra de semillas.

Según la disponibilidad de material semillero en el mercado, se pueden comprar las semillas o realizar la recolecta de semillas de plantas nativas en las zonas adyacentes del sitio que se desea recuperar. Las gramíneas se pueden sembrar por voleo y las otras plantas requieren su preparación anticipada en un vivero para su posterior siembra en el sitio de revegetación.

Cuadro 14. Dosificación general de semillas por área, distanciamiento y cantidad de individuos para cada uno de los grupos funcionales de plantas recomendadas en la revegetación de suelos degradados en sitios de minería y canteras

Grupo especies	Dosificación semillas/m²)	Distanciamiento	Individuos/ha
Gramíneas	2,5 a 5 g	-	± 750 000
Herbáceas	-	(2,0 x 2,0) y (1,5 x 2,0)	2 500 a 3 500
Arbustos	-	(2,0 x 2,5) o (1,5 x 2,25)	2 000 a 3 000
Árboles	-	(4,0 x 3,0) o (2,25 x 2,25)	750 a 1 600

III. Riego

El riego de las áreas sembradas puede ser un factor clave que ayudará en el establecimiento y desarrollo de las plantas. La necesidad de aplicar el riego después de la siembra debe ser definida anteriormente ya que depende de la disponibilidad de agua y el equipo necesario. Para que sea eficiente el riego, el tipo de sistema instalado debe promover suficiente agua. En los casos donde no se logra la instalación de un sistema de riego, la elección de la época adecuada para la siembra es indispensable y se define individualmente según las condiciones climáticas en cada sitio.

IV. Protección de las siembras

Durante el establecimiento de la vegetación, en algunas áreas, se pueden requerir cercas para evitar el pastoreo de animales nativos o salvajes. En las primeras fases de la revegetación el control de las hierbas no deseadas puede ser necesario, pues compiten por espacio, luz y nutrientes con las especies sembradas. También es importante proteger estas zonas contra el fuego, lo que requiere la preparación de cortafuegos apropiados. La revisión de los controles de drenajes se hace indispensable en sitios donde las condiciones climáticas y edáficas significan un alto riesgo de erosión hídrica.

Bibliografía

- ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos). 2007. Manual de restauración de explotaciones mineras a cielo abierto de Aragón. Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos. Zaragoza, España. 135 p.
- _____. 2006. Manual de Restauración de Minas a Cielo Abierto. Gobierno de La Rioja. Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial. Dirección General de Política Territorial, Logroño, España. 168 p.
- Aramburu, M.P.; Escribano M. y De Frutos, M. 1990. Restauración de zonas naturales alteradas por actividades mineras a cielo abierto. Informes de la Construcción, vol. 42(407):23-31.
- Baillie, J.; Hilton-Taylor, C. and Stuart, S. 2004. IUCN red list of threatened species: A global species assessment. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Bazzaz, F. y Pickett, S. 1988. Ecofisiología de la sucesión tropical: Una revisión comparativa en Crónica Forestal y del Medio Ambiente. N.º 6. sep. 1-27 pp.
- Bazzaz, F. 1991. Regeneration of tropical forests: Physiological responses of pioneer and secondary species. In: Gómez Pompa et al. Rain Forest Regeneration and Management. UNESCO. The Parthenon Publishing Group. Paris. 91-119 pp.
- Biancalani R., Nachtergaele F., Petri M. y Bunning, S. 2013. Land degradation assessment in drylands: methodology and results. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. 3 p.
- Bradshaw, A. 1997. Restoration of mined lands-using natural processes. Ecological Engineering 8:255-269.
- Brokaw, N. 1985. Treefalls, regrowth and community structure in tropical forests. In: Pickett, S. & White, P. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, Inc. New York. 53-71 pp.
- Buerstedde, P. ; Rose, G. ; Döhne, O.; Ellermann, S. Moses; C., Kriele, V. ; Kusche, J. y F. Steinmeyer. 2012. Region mit Zukunft: Wachstumsmärkte in Lateinamerika. Germany Trade and Invest (GTAI).

- Capó-Martí, M. 2002. Principios de ecotoxicología: Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. McGraw-Hill. 314 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2004. Planificación del Manejo Diversificado de Bosques Latifoliados Húmedos Tropicales. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica, Manual Técnico N.º 56. 315 p.
- _____. 1994. Modelo de simplificación de planes de manejo para bosques naturales latifoliados en las Región Centroamericana. Turrialba, Costa Rica. 29 p.
- Conesa, H., Evangelou, M., Robinson, B. y. Schulin, R. A Critical View of Current State of Phytotechnologies to Remediate Soils: Still a Promising Tool? The Scientific World Journal, vol. 2012, 1-10.
- Dawkins, H. 1957. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Imperial Forestry Institute (G.B.) Paper nº 34. 155 p.
- DGAA (Dirección General de Asuntos Ambientales) Perú. 1995a. Guía ambiental para vegetación de áreas disturbadas por la industria minero metalúrgica. In: Perú. Defensoría del Pueblo. Adjuntía para los Servicios Públicos y el Medio Ambiente. Compendio de normas ambientales en minería. Lima, Defensoría del Pueblo, 47 p.
- _____. 1995b. Guía ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas. In: Perú. Defensoría del Pueblo. Adjuntía para los Servicios Públicos y el Medio Ambiente. Compendio de normas ambientales en minería. Lima, Defensoría del Pueblo, 37 p.
- Doran, J. y Jones, A. 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Spec. Pub. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI. (608-273-8080).
- Drebenstedt, C. y Singhal, R. 2014. Mine Planning and Equipment Selection. Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th-19th October 2013. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. 1464 p.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2010. Green Remediation Best Management Practices. Bioremediation. (EPA 542-F-10-006).
- _____. 2010. Phytotechnologies for site cleanup. EPA 542-F-10-009.
- _____. 2009. Green Remediation Best Management Practices. Site Investigation. (EPA 542-F-09-004).
- _____. 2000. Abandoned mine site characterization and cleanup handbook (EPA 910-B-00-001).
- _____. 2000. Introduction to Phytoremediation. (EPA/600/R-99/107).
- _____. 2000. Remediation Technology. Cost Compendium Office of Solid Waste and Emergency Response. (EPA 542-R-01-009).

- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Degradación del Suelo. Portal de Suelos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>
- . 2009. Hacia una Definición de Degradación de los Bosques: Análisis Comparativo de las Definiciones Existentes. Documento de trabajo: Evaluación de los Recursos Forestales. Programa de evaluación de los recursos forestales. Documento de trabajo 154. Roma, Italia. 66 p.
- . 2011. Assessing forest degradation. Towards the development of globally applicable guidelines. Forest Resources Assessment Working Paper N.º 177. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- . 2002. Actas, Segunda reunión de expertos sobre armonización de definiciones relacionadas con la silvicultura para uso de varias partes interesadas, Roma, 11-13 septiembre 2002. Roma, Italia, 92 p.
- . 2002. Proceedings: Second Expert Meeting on Harmonizing Forest-related. Definitions for Use by Various Stakeholders, Roma, 11-13 de september de 2002. Roma. 201 p.
- Fernández Linares, L. 2013. Atenuación Natural de Suelos Contaminados. En: Alarcón, A. y Ferrera Cerrato, R. 2013. Biorremediación de Suelos y Aguas Contaminados con Compuestos Orgánicos e Inorgánicos. Editorial Trillas, México, D. F., México. 335 pp.
- Fraser Institute. 2012. What are abandoned mines? Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing mbH, Bonn; Germany. 56 pp. Disponible en: <http://www.miningfacts.org/Environment/What-are-abandoned-mines/>
- FSC (Forest Stewardship Council). 2000. Principios y criterios para el manejo forestal. Documento N.º 1.2.
- Golubev, I. A. 2011. Handbook of Phytoremediation. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA. 840 p.
- Gómez-Pompa, A.; C. Vásquez-Yanes; S. del Amo y A. Butanda (ed.). 1979. Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Comp. Editorial Continental, S.A. México. 676 pp.
- Hartman, H.L. and Mutmansky, J. 2002. Introductory Mining Engineering, 2nd Edition. Wiley, New York, USA. 584 p.
- Heikkinen, P.M. (ed.); Noras, P. (ed.) and R. Salminen (ed.) GTK; Mroueh, U. M. ; Vahanne, P.; Wahlström, M.M.; Kaartinen, T.; Juvankoski, M.; Vestola, E.; Mäkelä, E., Leino; M., Kosonen; Hatakka, T.; Jarva, J.; Kauppila, T.; Leveinen, J.; Lintinen, P.; Suomela, P.; Pöyry, H.; Vallius, P.; Nevalainen, J.; Tolla, P. and Komppa, V. 2008. Mine Closure Handbook. Environmental Techniques for the Extractive Industries. Espoo. 170 p.

- Hernández, A. y Pastor, J. 2008. LA restauración ecológica de ecosistemas degradados: marcos conceptuales y metodologías para la acción. Editorial CIEMAT. Serie Ponencias: Contaminación de suelos: técnicas para su Recuperación, Madrid, España, 24 p.
- Hutchinson, I. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico húmedo. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico nº 204. Colección: Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales, N.º 7, 32 p.
- IAEA. 2011. Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality. IAEA-TECDOC-1665. Vienna, Austria. 341 p.
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2009. Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. PHYTO-3. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Phytotechnologies Team, Tech Reg Update. Disponible en: <https://www.itrcweb.org>
- Kadukova, J. y Kalulicova, J. 2010. Phytoremediation and Stress: Evaluation of Heavy Metal-Induces Stress in Plants. Botanical Research and Practices. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA. 134 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Eschborn, Alemania, GTZ. 335 p.
- López-Falcón, R. 2002. Degradación del Suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDEAT), Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Louman, B., Carrera, F. & de Camino, R. 2004. Organización del manejo y niveles de planificación, Capítulo IV. In: Planificación del Manejo Diversificado de los Bosques Latifoliados Húmedos Tropicales, Editora: Orozco. L. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 329 p.
- Lewis, R. y Marshall, M. 1997. Principles of successful restoration of shrimp Aquaculture ponds back to mangrove forests. Programa/resumes de Marcuba '97, September 15/20, Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, 126 p.
- Martínez-Ramos, M. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. In: Gómez-Pompa, A. & Del Amo, S. Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México D. F., vol. 11, 191-240 pp.
- Mather, A. 2004. Forest transition theory and the reforestation of Scotland. Scott. Geogr. J. 120: 83-98.
- Meijaard, E.; Sheil, D.; Nasi, R.; Augeri, D.; Rosenbaum, B.; Iskandar, D.; Setyawati, T.; Lammertink, M.; Rachmatika, I.; Wong, A.; Soehartono, T.; Stanley, S. and O'Brien, T. 2005. Life after logging: reconciling wildlife conservation and production forestry in Indonesian Borneo. CIFOR y Unesco, Jakarta, Indonesia.
- Mendez, M. y Maier, R. 2008. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments-An Emerging Remediation Technology. Environ Health Perspect 116:278-283.

- OIMT-UICN. 2009. Directrices OIMT/UICN para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad en los bosques tropicales. Serie de políticas forestales OIMT n° 17. OIMT - UICN. 124 p.
- . 2005. Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica OIMT n° 23, Organización Internacional de las Maderas Tropicales en colaboración con la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza. 160 p.
- . 2011. Estado de la ordenación de los bosques tropicales 2011. Serie técnica OIMT n° 38. Preparado por J. Blaser, A. Sarre, D. Poore y S. Johnson. Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Yokohama, Japón.
- . 2002. Directrices de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados. Serie de políticas forestales OIMT N.º 13. OIMT, Yokohama, Japón.
- . 1992. Criterios para la ordenación sostenible de los bosques tropicales naturales. OIMT Serie de políticas forestales N.º 3.
- Peralta-Pérez, M. y Volke-Sepúlveda, T.L. 2012. La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación: the antioxidant defense in plants: a key tool for phytoremediation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 11, N.º 1, 75-88.
- Perdomo, M., Galloway, G., Louman, B., Finegan, B. & Velásquez, S. 2002. Herramientas para la planificación del manejo de bosques a escala de paisaje en el sudeste de Nicaragua. *Revista Forestal Centroamericana*. N.º 38: 51-58.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2010. Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe GEO ALC 3. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá. 370 p.
- Quirós, D. 2001. Tratamientos silviculturales, Capítulo 4. In: *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Louman, B.; Quirós, D.; Nilsson, M. (Eds.). Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 265 p.
- Salt, D.; Smith, R. and Raskin, I. 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 643-668.
- Rondón, R. & Vidal, R. 2005. Establecimiento de la Cubierta Vegetal en Áreas Degradadas. (Principios y Métodos). *Revista Forestal Latinoamericana* N.º 38/2005. 63-82 pp.
- Scatena, F. 2002. El Bosque Neotropical desde una perspectiva jerárquica. In: Guariguita, M. & Catan, G. *Ecología y Conservación de Bosques Tropicales*. 23-41 pp.
- Schnoor, J. 1997. Phytoremediation. Technology evaluation report, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center. Iowa, USA. 43 p.

- Simula, M. y Mansur, E. 2011. Un desafío mundial que reclama una respuesta local. Medir la Degradación del Bosque. Unasyva N.º 238, vol. 62, 2011/2.
- Stocking, M. 2001. Agrobiodiversity-A Positive Means of Addressing Land Degradation and Sustainable Rural Livelihoods (Keynote Paper), In: Conacher, A.J. 2001. Land Degradation. Springer Science Business Media, B.V.Dordrecht, Netherlands. 386 p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales). 2009. Guía de gestión ambiental para minería no metálica. UICN/Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe. San José, Costa Rica. 106 p.
- UNCCD. 2012. Neutralidad en la degradación de la tierra la resiliencia a escala local, nacional y regional. Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación, Bonn, Alemania. 24 p.
- Vangronsveld, J.; Herzig, R.; Weyens, N.; Boulet, J.; Adriaensen, K.; Ruttens, A.; Thewys, T.; Vassilev, A.; Meers, E.; Nehnevajova, E.; Van der Lelie, D. and Mench, M. 2009. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environ Sci Pollut Res.* 16:765-974.
- Vargas, G. 2001: El Uso de Computadoras, Programas e Instrumentos Electrónicos en la Planificación y Seguimiento de Planes de Manejo del Bosque Húmedo Tropical. Un Caso en Costa Rica. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Documento de trabajo. Estudio de caso de ordenación forestal.
- . 1998. Fundación para el desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR). Un caso exitoso en Manejo Sostenible de Bosque. Informe Interno. FUNDECOR. Moravia, Costa Rica. 10 p.
- Wadsworth, F. 1997. Producción Forestal para América Tropical. USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. 603 p.
- Wong M. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50:775-780.
- Xu, J., Yang, J. and Yang, X. 2007. Forest transition, its causes and environmental consequences: An empirical evidence from Yunnan of South China. *Trop. Ecol.* 48: 1-14

3. Clasificación y caracterización de estrategias y técnicas de restauración para ecosistemas acuáticos continentales

En las últimas décadas los ecosistemas acuáticos han adquirido gran relevancia tras reconocerse su importancia ecológica en el control de procesos biofísicos globales y su papel como fuente de servicios ambientales a la sociedad. Sin embargo, de acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA 2005) y citado por Vilardy et ál. (2014) la degradación y desaparición de los ecosistemas acuáticos es más rápida que la experimentada por otros ecosistemas, lo cual se explica principalmente por la acción de generadores indirectos de cambio como el crecimiento de la población, el avance en el desarrollo económico y de infraestructura, los cambios en el uso del suelo, la extracción de agua, la eutrofización y contaminación; la sobreexplotación, y la introducción de especies exóticas invasoras, lo que se transforman en impulsores directos de degradación. Esto ha llevado consigo el establecimiento de políticas dirigidas a proteger, conservar y gestionar acciones concretas que permitan su restauración. De esta manera, en aquellas áreas que muestren niveles altos de degradación, las medidas de restauración serán dominantes hasta que se logre recuperar total o parcialmente la estructura y/o las funciones de interés (Hobbs y Norton 1996); una vez que esto ocurra, se puede implementar una estrategia de manejo con medidas de conservación o uso sostenible.

Es importante destacar que ya desde 1971, a través del Convenio Internacional Ramsar (Ramsar 1971), se establecieron una serie de lineamientos sobre la importancia de la conservación y protección de humedales. Ramsar es el primero de los tratados modernos de carácter intergubernamental sobre conservación y uso sostenible de los recursos naturales, este tratado en sus inicios establece la relevancia de la conservación y el uso racional de los humedales con un especial énfasis en aquellos hábitats de importancia para las poblaciones de aves. Sin embargo, con los años, la Convención ha ampliado su alcance de aplicación hasta abarcar, hoy en día, la conservación y el uso racional de los humedales en una

amplio espectro de ecosistemas acuáticos, reconociendo con esto que los humedales son extremadamente importantes para la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas (Ramsar 2006). No obstante, no existe una clara interpretación del concepto de uso racional y, en especial, la aplicación de sus principios en el manejo de los humedales, debido a que la identificación de patrones de uso y las intensidades aceptables no son una tarea simple y depende del conocimiento de una serie de factores que tome en cuenta los diferentes tipos de ecosistemas acuáticos, su contexto regional y/o nacional, el uso por parte de las comunidades humanas y las necesidades futuras. De acuerdo con Maltby (1991) hay varios factores que se deben considerar para el uso de los humedales:

- Identificar las funciones y el valor de los humedales.
- La integración de usos compatibles en los sitios que lo requieran.
- Separación de los usos que resultan incompatibles.
- Crear una zonificación y la planeación ambiental.
- Basarse en una buena gestión de cuencas hidrográficas.
- Diseñar las estrategias sociales y económicas bajo el contexto local que permita reducir las presiones humanas que afectan la estabilidad del humedal.

Los ríos, humedales y manglares constituyen ecosistemas muy valiosos desde un punto de vista ecológico, ambiental y socioeconómico. A pesar de que ocupan una pequeña superficie con respecto a los ecosistemas terrestres, son únicos, no solo por su elevada riqueza de especies, sino por el papel que juegan en el suministro de agua, al cumplir un papel central en la mediación de los procesos de los ecosistemas a escala mundial, donde se vincula la atmósfera, la litosfera y la biosfera, adicionalmente llegan a constituirse en verdaderas islas de biodiversidad genética, taxonómica y funcional por los procesos implicados en su funcionamiento (WCMC 1998).

Son muchas las evidencias que demuestran que la mayoría, o incluso la totalidad de los ecosistemas del planeta, se encuentran bajo constantes intervenciones humanas (Gómez-Pompa y Kaus 1992), lo que nos obliga, por un lado, reconsiderar los modelos para su manejo adecuado y, por otro, incorporar acciones que permitan la restauración de aquellos ecosistemas que presentan claras evidencias de degradación. En este contexto, la conservación y la restauración de los ecosistemas acuáticos puede constituirse en una estrategia complementaria y esencial a las acciones de manejo. La conservación de la múltiples funciones ecológicas y la contribución a los procesos hidrológicos, así como la relevancia en cuanto a los aportes económicos relacionados a los ecosistemas acuáticos, requieren de un mejor entendimiento y cambio de paradigma que permita no solo comprender su dinámica natural, sino que ofrezca a la vez, un enfoque integral que asegure el mantenimiento de estos ecosistemas y permita contribuir de una forma eficiente en su restauración para asegurar sus contribuciones ecológicas, hidrológicas y económicas a largo plazo.

La convención internacional de conservación de humedales Ramsar (Ramsar 2006) que comprende la mayoría de los ecosistemas acuáticos, determina bajo la definición de humedales una amplia variedad de hábitats, tales como: pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos; y áreas costeras como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros, así como humedales artificiales, es decir, estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses. De acuerdo con Cowardin et ál.(1979), los humedales son áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos, donde el nivel de agua está usualmente cerca o sobre la superficie del suelo o aquellos sitios donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas con los siguientes atributos: a) al menos periódicamente el suelo sostiene plantas predominantemente hidrófitas, b) el sustrato sobre el suelo es predominantemente hídrico y discurre lentamente, y c) son áreas que se encuentran saturadas con agua o cubiertas por aguas poco profundas en algún momento del año.

Cuadro 1. Características de cada uno de los subsistemas que componen los ecosistemas acuáticos

Subsistemas	Características
Subsistema terrestre	Compuesto por los hábitats terrestres que rodean la zona de humedal y que presentan una cobertura vegetal asociada a plantas superiores (árboles), pero que se adaptan o requieren condiciones de alta humedad.
Subsistema borde	Es una zona de interfase entre lo terrestre y lo acuático compuesto por el área de borde o zona de transición donde fluctúa el nivel del espejo de agua en función de la estacionalidad climática.
Subsistema acuático	Es la parte interna del humedal (hábitats acuáticos) que conforma el área de inundación y que está dominada por flora predominantemente macrófita.

Para una mejor comprensión de los elementos de restauración de los ecosistemas acuáticos que comprende este Módulo, se consideran los siguientes fundamentos entre las proyecciones dirigidas a su restauración. Se contemplan las acciones de restauración sobre ecosistemas acuáticos terrestres y que comprende la presencia de aguas continentales dulces bajo dos condiciones generales de desplazamiento: con un visible movimiento horizontal y rápido recambio de líquido (ecosistemas lóticos) y con movimientos lentos, principalmente convectivos y de recambio lento (ecosistemas lénticos) (Sánchez et ál. 2007).

Entre los ecosistemas lóticos que comprende este manual, se contempla la restauración de zonas riparias de ríos y áreas de nacientes, aquellos sitios conformados por sistemas de aguas fluviales y representados por ríos, arroyos y las zonas de nacientes que tienen la particularidad de que su flujo de agua discurre en función de la gravedad, estrechamente relacionado con la topografía del terreno, además sus límites están conformados por la divisoria de aguas de las cuencas hidrográficas a las cuales pertenecen. En el caso de los ecosistemas lénticos, se consideran para las acciones de restauración de humedales áreas que comprenden lagos, lagunas y pantanos. En el caso de aguas con influencia de ambientes marinos (aguas salinas o salobres) se valora la restauración de manglares.

Cuadro 2. Valores de los ecosistemas acuáticos asociados a las acciones de restauración de este manual basado en Dugan (1992) y con modificaciones de los autores

	Lagos, lagunas y pantanos	Ríos, arroyos y nacientes	Manglares
Funciones			
1. Recarga de acuíferos	x	x	0
2. Descarga de acuíferos	+	x	+
3. Control de inundaciones	x	x	x
4. Estabilización de la línea costera y control de erosión	0	0	x
5. Retención de sedimentos y/o sustancias tóxicas	x	+	x
6. Retención de nutrientes	+	+	x
7. Exportación de biomasa	+	+	x
8. Protección contra tormentas	0	+	x
9. Estabilización de microclimas	+	x	+
10. Transporte de agua	+	x	+
11. Secuestro de carbono	x	+	x
12. Mitigación del cambio climático	x	+	x
Productos			
1. Recursos forestales	0	0	x
2. Recursos de vida silvestre	x	+	+
3. Pesquerías	x	x	x
4. Recursos forrajeros	x	0	+
5. Recursos agrícolas	+	0	0
6. Abastecimiento de agua dulce	x	x	0
Atributos			
1. Diversidad biológica	x	x	+
2. Patrimonio cultural	+	+	+
3. Belleza escénica	+	x	+

Interpretación de la escala de valor: 0 = ausente o excepcional

 + = Presente

 X = Común con un alto valor en este ecosistema

Fuente: (Dugan 1992) con modificaciones de los autores

3.1 Restauración de humedales

Los humedales constituyen ecosistemas complejos y se reconoce su importancia ecológica y su variedad de funciones en el control de los procesos biofísicos globales. Se constituyen en los principales medios de recarga y descarga de muchos acuíferos y funcionan como barreras biológicas para controlar las crecidas de los ríos, retener sedimentos y nutrientes,

estabilizar costas y protegerlas de su erosión. A pesar de las múltiples funciones de los humedales y el amplio espectro de servicios ambientales de los que se ha beneficiado la humanidad, se han perdido muchas áreas a nivel mundial, debido a las constantes alteraciones antropogénicas y muchas veces por el interés de drenarlos para transformar sus terrenos en uso agrícola y/o para obras de infraestructura.

Por lo general, todos los ecosistemas terrestres presentan una red de humedales de tamaños muy variables que pueden ser temporales o permanentes, con fluctuaciones de diferentes escalas de tiempo (diarias, estacionales, anuales) y estrechamente relacionadas a la estacionalidad climática regional y su ubicación geográfica. Los humedales asumen funciones importantes en el paisaje, sobre todo para la retención de agua, como filtros y como hábitat para plantas y animales dependientes de estos tipos de hábitats, además son múltiples los beneficios que obtiene el ser humano (Junk 2002).

Las principales actividades antropogénicas que han dado pie a las alteraciones en los ecosistemas terrestres, y que contribuye a la pérdida de cobertura en los paisajes forestales, ha llevado consigo cambios importantes en la hidrología y estabilidad de los ecosistemas acuáticos. Algunas de estas modificaciones se han producido por causas naturales, pero en su mayoría están asociadas a las constantes intervenciones humanas, es así como los cambios en los humedales van a estar ligados a los manejos inadecuados en las cuencas hidrográficas que los abastecen.

Entre las principales causas de degradación tenemos: el drenado y la reducción de humedales mediante canalización y drenajes, la construcción de obras de infraestructura (carreteras, represas hidroeléctricas), los desarrollos inmobiliarios; la contaminación, al servir como áreas de descarga de aguas servidas; la sobreexplotación del recurso agua que supera su capacidad de recarga, la invasión de especies, así como la pérdida del espejo de agua por acumulación de sedimentos principalmente (MEA 2005).

Los problemas que se generan con la pérdida y disminución de los humedales estarán estrechamente asociados con la disminución de beneficios ambientales y funciones ecológicas que estos desempeñan, por lo que se deberán dictar lineamientos de gestión, no solo a la conservación y manejo de aquellos humedales hasta hoy existentes, sino que se deberá implementar estrategias de restauración que permitan recobrar las principales funciones ecológicas de aquellos humedales con claros signos de degradación.

3.1.1 Objetivos de la restauración en humedales

- Contribuir al mantenimiento de la biodiversidad y la regeneración de los espacios vinculados a las zonas de humedales.
- Mitigar los riesgos de inundación y sequía por medio de la restauración de áreas circundantes y de influencia directa sobre la estabilidad de los humedales.

- Fomentar los medios que permitan una adecuada conservación y uso del suelo de las cuencas que abastecen las zonas de humedales.
- Reducir los impactos de la erosión mediante procesos que favorezcan la rehabilitación para aumentar los contenidos de materia orgánica en el suelo y los porcentajes de humedad.
- Disminuir la escorrentía superficial y favorecer la infiltración con el fin de aumentar las reservas y regulación del recurso hídrico.
- Reducir el aporte de sedimentos y nutrientes, así como controlar las especies invasoras que tienen un efecto directo sobre la permanencia de los humedales.

3.1.2 Selección de los sitios por restaurar

La estabilidad de los humedales está directamente relacionada con los rasgos naturales de las cuencas hidrográficas que los influyen, tales como: la hidrología, la topografía (elevación, aspecto y pendiente), el clima, los patrones de precipitación, los tipos de suelo, el agua subterránea, las aguas superficiales, la zona de drenaje y las comunidades vegetales y animales. Por esta razón, contar con información sobre estas características será fundamental para la selección y planificación de los sitios por restaurar. Conocer aquellos factores que causaron la degradación y pérdida de los humedales en el área será necesario para definir los sitios por restaurar. El Cuadro 3 presenta las principales consideraciones en relación con la condicionante para facilitar la información en la planificación del proyecto.

Para la selección de los sitios por restaurar se debe considerar una evaluación de los factores físicos, biológicos y sociales de influencia sobre el sitio meta. Entre los factores físicos es indispensable evaluar el nivel de degradación de los paisajes forestales circundantes, ya que la pérdida de paisaje provoca el aumento del nivel de escorrentía superficial, erosión, disminución de la capacidad de infiltración del suelo, baja biodiversidad, disminución de los ensambles de las especies presentes, sedimentación y por ende alteración del humedal (Palmer et ál. 1997). Lo anterior es fundamental porque el nivel de perturbación limita los alcances del proyecto de restauración, y en el caso del paisaje circundante, su estado de conservación es determinante, pues influye en procesos como el aporte de nutrientes y sedimentos hacia el sitio que se desea restaurar, influye en la dinámica poblacional de la flora y fauna y en la escorrentía.

La construcción de una matriz de situaciones de conflicto, así como los potenciadores de proyecto pueden ser una herramienta de mucha ayuda para seleccionar los sitios por restaurar. Descubrir aquellas tensionantes que provocan alteraciones al humedal y la asignación de una escala de valor, de acuerdo con el grado de afectación en conjunto con la valoración de las potencialidades que se tienen en el sitio, permite definir a través de la matriz la priorización de los sitios por restaurar.

Cuadro 3. Información relevante por considerar para la planificación y selección de los sitios por restaurar en humedales, basado en IWWR 2003 y Montes et ál. 2007 con modificaciones de los autores.

Condicionante	Consideraciones
Hidrología	• Evaluar las características hidrológicas e identificar las causas de los cambios. • Reconocer y evaluar las fuentes de abastecimiento, principalmente los caudales superficiales con el fin de gestionar los requerimientos de restauración. • Considerar la relación que debe existir entre la elevación de la superficie del suelo y el nivel de agua del humedal con el fin de restablecer su hidrología. • Considerar factores hidrológicos que pueden limitar la restauración. • Definir parámetros hidrológicos por medir que permitan una comparación con fuentes de ecosistemas referencia.
Calidad de agua	• Identificar fuentes y tipo de contaminación (puntual o difusa). • Considerar métodos que permitan mejorar la calidad del agua en aquellos focos de contaminación. • Definir parámetros de calidad de aguas que permitan una comparación con fuentes de ecosistemas referencia.
Suelo	• Recopilar información de referencia sobre suelos locales (usos, edafología, topografía, etc.). • Reconocer características del sustrato, niveles de materia orgánica, nutrientes, humedad y estructura del suelo. • Evaluar la presencia de capas impermeables que contribuyan a la dinámica del humedal y que limitan la restauración. • Considerar la intervención de obras de infraestructura y en especial sistemas de drenaje que perjudican la estabilidad del espejo de agua. • Definir parámetros de suelo que permitan una comparación con fuentes de ecosistemas referencia.
Vegetación	• Recopilar información sobre especies dominantes, en estado de protección y con poblaciones en riesgo, así como reconocer las etapas sucesionales características de las zonas de humedal. • Identificar las especies invasoras no nativas y explorar métodos naturales que permitan su control. • Considerar aquellos patrones hidromorfológicos que pudieran restringir el establecimiento de la vegetación. • Controlar aquellos mecanismos u organismos que impiden el crecimiento y sobrevivencia de las especies utilizadas en la restauración (herbívoros, inundación, luz, entre otros). • Definir los parámetros vegetacionales que permitan una comparación con fuentes de ecosistemas referencia.
Fauna	• Identificar aquellas especies nativas habituales en el estado pionero y maduro del humedal. • Determinar especies en estado de protección o de especial importancia, especies invasoras no nativas y especies nativas del humedal. • Reconocer perturbaciones naturales o antropogénicas que pudieran limitar el establecimiento de la comunidad nativa. • Considerar recuperar aquellas condiciones del hábitat que atraen a las especies de animales típicas y con rasgos específicos que permiten la llegada de otras especies de importancia en los ecosistemas de humedales. • Controlar las amenazas para las poblaciones animales recién establecidas (depredadores, inundación, contaminación, impactos humanos, entre otros) y buscar los mecanismos para su combate. • Definir los parámetros faunísticos que permitan una comparación con fuentes de ecosistemas referencia.

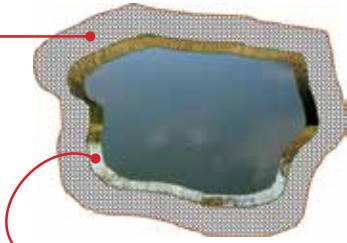
Fuentes: IWWR 2003 y Montes et ál. 2007 con modificaciones de los autores.

Las áreas potenciales para implementar proyectos de restauración se pueden dividir de acuerdo con el grado de influencia en:

- Zona de influencia indirecta: comprende las áreas de influencia de todos aquellos sistemas fluviales como: ríos, arroyos y riachuelos que abastecen de agua la zona del humedal. La restauración de estos ecosistemas se contempla en el capítulo siguiente relacionado con la restauración de zonas riparias de ríos y áreas de nacientes.

- Zona de influencia directa: comprende el área del humedal y su zona circundante o de transición que permita su estabilidad entre las variaciones de su nivel de agua dependiente de la estacionalidad climática, donde se debe mantener un grado de cobertura en aquellos márgenes de influencia del humedal, la franja de cobertura estará muy relacionado con el tamaño del humedal (Cuadro 4), áreas donde se concentrarán las recomendaciones de restauración de este acápite.

Cuadro 4. Tamaños de franja de cobertura permanente recomendada para mantener y/o restaurar en función del área del humedal

Área del humedal (ha)	Tamaño de la franja (m)	Zona de influencia directa
< 1	25	
de 1 a 5	50	
de 5 a 10	75	
de 10 a 50	100	
de 50 a 100	200	
de 100 a 1 000	300	
de 1 000 a 10 000	400	
> 10 000	500	

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

3.1.2.1 Técnicas de implementación

a) Recuperación del régimen hídrico

La restauración del régimen hídrico en los humedales es uno de los primeros pasos que se deben seguir para permitir la estabilidad de aquellos ecosistemas asociados a cuerpos de agua como: lagos, lagunas y pantanos. El régimen hídrico de un humedal, y en especial las áreas de influencia directa, se pueden ver afectadas por la construcción de estructuras, sistemas de drenado y/o la construcción de diques que en conjunto impiden o extraen el flujo de agua que requiere un humedal (Portnoy 1999). La deforestación de las cuencas que abastecen el humedal alteran la relación que existe entre la escorrentía y el flujo sub-superficial ya que pueden modificar el régimen hídrico por sedimentación o agregación de sustratos (Sánchez et ál. 2007). Por otra parte, los diques así como los sistemas de drenaje artificiales, controlan en gran medida la profundidad o el nivel del espejo de agua, lo que provoca grandes alteraciones sobre los procesos ecológicos naturales en estos ecosistemas. Los estudios sobre el balance hídrico permiten conocer las condiciones óptimas en cuanto a nivel natural de los humedales, las cuales no deben ser afectadas por acciones de cambio de origen antropogénico. Por lo tanto, las principales gestiones de restauración para controlar el régimen hídrico en los humedales deberán estar direccionadas a las siguientes acciones:

- **Mantenimiento y restitución del espejo de agua**

Entre los procesos más complejos en la recuperación de los humedales se encuentra el mantenimiento y la restitución del espejo de agua, principalmente como consecuencia de la colmatación natural, dragados, rellenos, drenajes, entre otros. En muchos casos de restauración, recuperar este espejo de agua, significa abrir espacio físico en las áreas de influencia directa con el fin de que se desarrolle vegetación flotante cuando la columna de agua logra retomar sus niveles naturales. Esta columna de agua puede ser menor a 50 cm, con ello se posibilita el desarrollo de vegetación sumergida y semisumergida (*Hyphydata*, *Mesopleustophyta*) y que logra constituir a su vez un buen hábitat para macroinvertebrados importantes en la dieta de la avifauna.

- a. **Demolición de obras existentes:** de acuerdo con los diseños, muchas veces es necesaria la demolición de algunas estructuras existentes en concreto o pavimento para lograr estabilizar los flujos de agua. Los diques que provocan ingreso o evacuación, deberán ser evaluados para su adecuación.
- b. **Control de sistemas de drenado:** se deben revisar los sistemas de canalización que intervienen sobre la normalización del espejo de agua. El cierre de obras de drenado será necesario para permitir la recuperación del nivel de agua. En muchas ocasiones se establecen áreas de drenado a lo largo de los humedales para aumentar el área efectiva de las actividades agrícolas. Es importante considerar el marco legal e institucional aplicable a la gestión de humedales, con el fin de buscar medios jurídicos para que se respeten los límites naturales de los ecosistemas acuáticos.
- c. **Control del arrastre de residuos sólidos:** entre los problemas más comunes, en especial en los humedales cercanos a zonas urbanas, se encuentra la acumulación de residuos y descargas industriales. La remoción total y los planes de gestión ambiental con el acompañamiento de programas de educación, serán acciones que permitan controlar el cúmulo de residuos sólidos.
- d. **Reconfiguración morfológica del vaso:** son aquellas actividades necesarias para adecuar la geometría del humedal a una situación que permita un máximo de diversidad del hábitat. Una forma de lograr una organización espacial de zonas de manejo en el eje transversal de un humedal se representa con el ejemplo propuesto en la Figura 1 (Schmidt-Mumm 1998), donde se incluye la franja de cobertura arbórea permanente. Una adecuación de pendientes en la zona litoral mediante la movilización de materiales de la orilla, de forma manual o con el uso de maquinaria liviana, ayuda a conformar un gradiente de profundidad moderada que maximice el área disponible para el despliegue de los diferentes tipos estructurales de vegetación. En algunos casos será necesaria la construcción de obras de contención hidráulica que aseguren un llenado rápido de las áreas de transición y que, por otro lado, controlen las salidas de los flujos de agua con el propósito de mantener un nivel adecuado del espejo de agua que favorezca la restitución de la flora y la fauna natural.

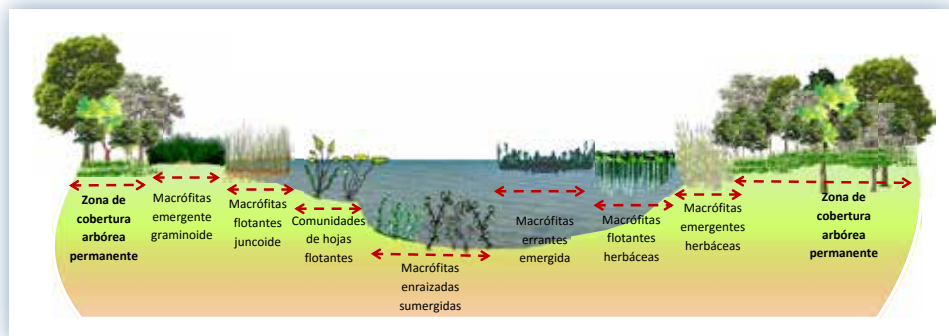


Figura 1. Perfil generalizado de los tipos estructurales de vegetación acuática, semiacuática en un humedal en conjunto con la franja de cobertura arbórea permanente, basado en lo propuesto por Schmidt-Mumm (1998) y con modificaciones de los autores.

b) Control de especies invasoras

El impacto de las especies invasoras, además de las perturbaciones antrópicas, representa una amenaza para la estabilidad ecológica y provoca una pérdida de biodiversidad en los humedales. Debido a las capacidades morfofisiológicas y adaptativas de las especies invasoras, en muchos casos, llegan a ser dominantes sobre las especies nativas, en otros son absorbidas con el tiempo a través de la sucesión y sus impactos logran ser mitigados, pero en ocasiones la invasión empeora a medida que las plantas invasoras ocupan el espacio de las especies nativas (Rejmánek y Richardson 1996). Los ecosistemas más susceptibles a los efectos de las especies invasoras, son los que presentan una menor diversidad, formas de vida y altas perturbaciones, debido a que algunas funciones ecológicas no están ocupadas y pueden ser suplidas por especies invasoras. Generalmente, las especies invasoras carecen de competidores, depredadores y parásitos, lo que lleva a una ventaja competitiva en relación con las especies nativas (Levine y D'antonio 1999; Levine 2000). Muchas especies no nativas que son introducidas en los ecosistemas de humedal se transforman, en algunas oportunidades, en especies invasoras, lo que representa una eminente amenaza para las principales características ecológicas de los humedales.

Las características que le confieren el carácter invasor a las especies se relacionan con distintas fases del proceso de invasión, pero casi todas obedecen a una elevada capacidad competitiva. Las plántulas invasoras se establecen mejor y sobreviven más, tienen una mayor probabilidad de persistir frente a posibles eventos estocásticos que pudieran eliminar la población inicial (Vilá et ál. 2008). La dinámica de las comunidades vegetales de los humedales suele regirse por procesos de invasión oportunista (ventana de invasión por disturbios naturales), más que por secuencias ordenadas de sucesión; esto puede resultar en pérdidas locales de diversidad por establecimiento de parches de vegetación monoespecíficos (Van Der Hammen et ál. 2008). El control sobre la dinámica de las comunidades vegetales de los humedales requiere en muchas ocasiones crear mecanismos de control de las especies invasoras. Las técnicas de remoción más recomendadas serían las manuales o con maquinaria liviana para controlar la multiplicación de las especies invasoras y reducir su potencial de propagación, pero a la vez, minimizar el

impacto por las acciones de control. Es importante recalcar que el control con herbicidas debe ser descartado por el impacto de toxicidad sobre la biota natural del humedal.

- a. **Método manual de erradicación de especies invasoras.** Es el método básico para retirar y controlar la propagación de especies invasivas. Consiste en la corta de árboles, hierbas y arbustos pequeños invasores, debe realizarse periódicamente según las características de crecimiento y desarrollo de las plantas que se deben erradicar. El deshierbe manual es uno de los métodos más utilizados con el uso de machetes, azadones y hoces. Otro medio semimanual sería la utilización de máquinas de deshierbe, conocidas como máquinas desbrozadoras, desmalezadoras o motoguadañas por su amplio poder y tamaño, lo que permite seleccionar el equipo mecánico que mejor se adapta a las condiciones del terreno y a la resistencia de las plantas que se van a erradicar.
- b. **Método mecanizado.** El método mecanizado es para lograr la eliminación y/o erradicación de las especies invasoras de una forma efectiva y con buen rendimiento. Si se cuenta con equipo agrícola, como tractores, se puede utilizar en conjunto con el acoplamiento de una desmalezadora o chapeadora agrícola para la eliminación de hierbas y arbustos pequeños.

Cuadro 5. Información relevante por considerar para la planificación y selección de los sitios por restaurar en humedales, basado en IWWR 2003 y Montes et ál. 2007 con modificaciones de los autores

Características	Rasgos funcionales de la planta invasora
Vegetativas	• Elevada capacidad competitiva. • Mejor capacidad de establecimiento. • Mayor sobrevivencia. • Mayor capacidad de sobrevivir a eventos estocásticos (resistencia ecológica). • Capacidad de propagación clonal (rizomas, bulbos y vástagos). • Mayor altura que las de las plantas nativas, lo que le permite disponer de más cantidad de luz. • Elevada tasa fotosintética y una mayor superficie foliar específica.
Reproductivas	• Las plantas invasoras suelen ser con menor frecuencia dioicas (individuos de un solo sexo) y con más frecuencia monoicas (ambos sexos en un mismo individuo) lo que favorece su fecundación. • Las plantas invasoras suelen tener elevados niveles de autopolinización, lo que asegura su descendencia y la viabilidad de la población a partir de unos pocos individuos. • Suelen ofrecer mayores atributos alimenticios a la fauna local lo que permite su distribución. • En relación con su fenología, estas especies presentan mayores períodos de floración y/o fructificación que las nativas. • Presentan mecanismos de distribución más exitosos que las especies nativas.
Tolerancia al estrés y a las perturbaciones	• Generalmente son especies tolerantes al estrés (sequía, resisten el fuego, ataque de herbívoros y enfermedades). • Mayor eficiencia en relación con los recursos disponibles.
Plasticidad genética	• La plasticidad fenotípica permite generar a partir de un genotipo, distintos fenotipos en respuesta a distintos ambientes. • Capacidad de modificar sus características morfológicas y fisiológicas para invadir numerosos hábitats. • La plasticidad fenotípica en algunas especies invasoras les posibilita vivir en diferentes ambientes y les confiere ventajas a la hora de invadir lugares nuevos. • La plasticidad fenotípica puede incrementarse mediante la hibridación entre especies o variedades.

Fuente: Vilá et ál. 2008.

Otra técnica es el método de fangueo o batido, el cual desarraiga las plantas invasoras, las entierra para formar un ambiente anaeróbico impide la germinación de las semillas. El fangueo en conjunto con el espejo de agua, que mantiene el humedal, evita el establecimiento de las especies invasoras. No obstante, es una técnica de uso reservado, en primera lugar por su alto costo, y en segundo, porque provoca una compactación del suelo del humedal que limita los drenajes naturales. Asimismo, no permite discriminar entre las especies nativas de beneficio para el humedal y las especies invasoras, por lo que su uso se debe limitar a aquellos humedales que presentan una alta invasión de especies y que se requiere, a corto plazo, el restablecimiento del espejo de agua.

c) Acciones de restauración de la vegetación en la zona de influencia directa

La restauración de los ecosistemas, en su concepción más simple, trata de recuperar un sistema natural más o menos degradado a sus condiciones ecológicas naturales. Sin embargo, muchas veces son metas inalcanzables debido al deterioro significativo, principalmente, por las constantes intervenciones humanas. Por lo tanto, restituir el ecosistema a su estado original será, en su punto más crítico, una acción que dependerá de múltiples factores y su alcance no podrá ser valorado hasta que se conozca la respuesta de las intervenciones de restauración. A continuación se ofrecen algunas alternativas de restauración de la vegetación de la zona de influencia directa.

De acuerdo con Van Der Hammen (2008), para una planificación de las actividades relacionadas con el manejo de la vegetación en un humedal, se requiere una previa evaluación de los siguientes aspectos generales:

- Evaluar la diversidad de cobertura y riqueza de especies en fragmentos remanentes.
- Establecer tipos fisonómicos de combinación de especies.
- Elaborar un mapa de coberturas vegetales que contemple el perfil transversal y longitudinal de coberturas.
- Determinar los límites actuales de la vegetación acuática y semiacuática que permita una zonificación de manejo de la vegetación.
- Considerar las interacciones de la vegetación con la fauna endémica y transitoria.
- Seleccionar las especies en función de las metas de intervención de las coberturas vegetales.
- Diseñar los prospectos de intervención, su implementación y evaluación.

Este diagnóstico permite definir los patrones que organizan espacialmente las actividades de manejo y restauración, por lo tanto, la selección de las especies podrá obedecer a propiciar un aumento de la diversidad, a mejorar las condiciones del flujo hídrico o cumplir como fuente de abrigo, alimentación, anidación y protección de la fauna.

a. Restauración ecológica en zonas de influencia directa de humedales

La vegetación en las zonas de influencia directa de los humedales cumple diversas funciones ambientales y sociales, como: la regulación hídrica, el mejoramiento de la calidad del agua, la conservación de los suelos, la preservación de la biodiversidad, además de ofrecer productos como: leña, madera y alimento para la comunidad asentada en las áreas aledañas a estos ecosistemas.

El cumplimiento de estas funciones se relaciona con el ancho de la franja de retiro y las características de las plantas asociadas a estas áreas. Las zonas de influencia directa de los humedales deben ser consideradas como áreas de protección donde debe prevalecer la vegetación boscosa natural o establecida por acciones de restauración. Por lo tanto, se deben desarrollar proyectos encaminados a la restauración ecológica con el fin de cumplir con su papel protector de los recursos agua, suelo y biodiversidad. El objetivo principal de la restauración ecológica será devolverle los atributos ecológicos más cercanos al ecosistema original y/o similar al ecosistema referencia en aquellos casos cuando se considere como patrón de comparación.

1. Selección de las especies en las propuestas de restauración ecológica de humedales

Los criterios a seguir para la selección de especies potenciales para la restauración en los ecosistemas de humedales se basan en lo propuesto por Arroyave et ál. (2011) y son los siguientes:

- Adaptación a condiciones de inundación por períodos de tiempo cortos.
- Sistemas de enraizamiento vigorosos y resistentes a fluctuaciones del nivel del río.
- Representativas de la vegetación y los grupos ecológicos en los bosques de referencia.
- Selección de especies con mayor importancia ecológica en los ecosistemas y adecuadas a las diferentes zonas de transición (Figura 2).
- Elección de especies de importancia económica y que ofrezcan atributos para las poblaciones locales.

Para las acciones de implementación se debe utilizar una combinación de especies en función de las diferentes zonas de transición. Asimismo se deben utilizar especies para las zonas de inundación a través de un banco de donadores de semillas de sitios referencia u otros sitios estables del propio humedal, material que se obtiene de los primeros centímetros de suelo que alojan semillas, raíces, bulbos y otros tipos de propágulos, colocándolos en un sitio con similar pendiente y profundidad como en el que se encontraban. En el caso de la vegetación flotante, puede ser colectada en humedales cercanos, o donde existen zonas de rebalse que, muchas veces, permite la acumulación de semillas, esporas, larvas y otros organismos. Para las zonas de cobertura arbórea se pueden utilizar especies heliófitas efímeras de porte arbustivo (entre 3 a 4 metros) que tengan una alta productividad de semillas en etapas tempranas y que

puedan ofrecer recursos alimenticios a la fauna local (frutos, hojas, semillas), además agregar, en el ensamble de siembra, especies heliófitas efímeras de porte arbóreo en conjunto con especies de heliófitas durables y especies esciófitas.

Se recomienda para los proyectos de restauración ecológica en humedales que el material por plantar de las especies seleccionadas se dé en función de los estudios ecológicos en los ecosistemas referencia. Para esto se pueden seleccionar árboles en el sotobosque, con el fin de colectar semillas o plántulas germinadas. Se deben seleccionar varios árboles semilleros por especie para aumentar la variabilidad genética.

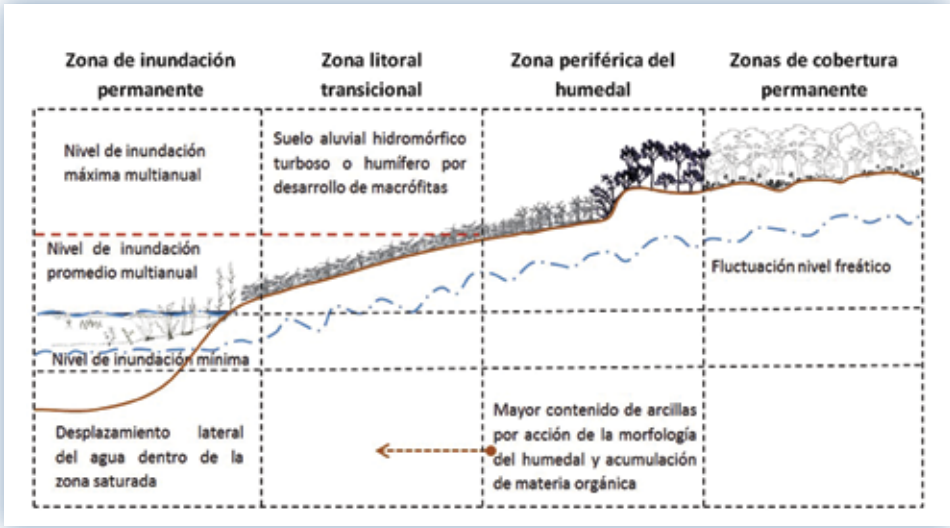


Figura 2. Perfil esquemático de las zonas transversales de un humedal en función del comportamiento del nivel del espejo de agua y la fluctuación del nivel freático, basado en lo propuesto por van Der Hammen (2008) y con modificaciones de los autores.

Cuadro 6. Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar para las zonas de cobertura permanente en los humedales

Área (ha)	Heliofita efímera (arbustiva)	Heliofita efímera (porte arbóreo)	Heliofita durable	Esciófita	Total (especies)
1-3	2-4	4-6	4-6	2-4	12-16
3-10	3-5	5-8	6-10	4-6	16-24
>10	4-6	8-10	10-12	6-8	24-32

2. Establecimiento en campo

Para la siembra en campo se recomienda utilizar un sistema de tresbolillo (pata de gallina) o preferiblemente siembras en contorno en función de las curvas de nivel, en terrenos quebrados, para controlar la erosión y la escorrentía superficial. El distancia-

miento recomendado es de 4 x 4 metros, lo que nos da una cantidad total de 721 individuos para sembrar por hectárea. La distribución por grupo ecológico se basa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Cantidad de individuos para plantar de cada gremio ecológico, por hectárea, en relación con su diagrama de siembra en las zonas de cobertura permanente de los humedales

Gremio ecológico	Individuos por hectárea*
Heliofita efímera (arbustiva)	150
Heliofita efímera (porte arbóreo)	200
Heliofita durable	200
Esciófita	75
Total	721

* Siembra en sistema tresbolillo, la densidad de siembra es igual a: $(d \times d) \times \text{seno } 60^\circ$.

b. Rehabilitación en zonas de influencia directa de humedales

Para aquellos humedales degradados, la rehabilitación será un primer paso fundamental dirigido a recuperar algunos atributos ecológicos con el propósito de favorecer la regeneración natural de aquellas especies de árboles y arbustos en la franja de cobertura permanente. Además, facilitará el proceso de recuperación natural de las zonas de transición, al controlar la escorrentía superficial, disminuir la erosión y favorecer la llegada de fauna que permita la distribución de semillas de especies de gramíneas, juncos, macrófitas, entre otras. Los planes de rehabilitación que se implementen en las zonas de cobertura permanente en los humedales pueden contribuir con especies que ofrezcan aportes económicos a los dueños y a las poblaciones locales, con ello, se armoniza la restauración y agrega valor y servicios al establecimiento de los proyectos. Es importante recalcar que no se deben utilizar especies que presenten características de especies invasoras para que las acciones de rehabilitación no provoquen alteraciones en los ecosistemas de humedal. El proceso de rehabilitación en las zonas de cobertura permanente permitirá contribuir al establecimiento de ensambles de paisaje para favorecer el flujo de vertebrados e invertebrados entre las diferentes zonas de los humedales.

1. Selección de especies y medios de reproducción

La selección de las especies es un paso fundamental en todo proyecto de restauración. Para la rehabilitación de humedales se recomienda elegir un número adecuado de especies para que los recursos disponibles (agua, luz y nutrientes) puedan ser utilizados de la manera más eficiente y que la degradación sea absorbida o asimilada por el conjunto de especies que se establecen. En este sentido, la plantación de árboles nativos o de especies pioneras dominantes y de importancia ecológica puede ser de una gran valor para el éxito de las acciones de rehabilitación. Contar con información sobre las especies que conforman el paisaje local, en distintas etapas de regeneración

natural, puede ser una herramienta que permita identificar especies que contribuyen en la construcción estructural de la vegetación de las diferentes zonas de los humedales.

Las especies deben tener un follaje grande y fuerte, de fácil propagación o colecta de plántulas, que presenten un sistema radicular profundo lo que permitirá soportar eventos extremos de inundación, que puedan crecer bajo condiciones deficientes de suelo, que requieran mínimas labores de mantenimiento, que sean resistentes a las plagas y enfermedades y que ofrezcan atributos de uso a las poblaciones locales.

- Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios (capacidad de rebrotes).
- Que sean poco palatables (apetecidas por el ganado).
- Que ofrezcan alguna utilidad a las comunidades locales en los casos que sean para utilizar en las zonas de amortiguamiento.

2. Establecimiento en campo

Los diseños florísticos en los humedales deben posibilitar una identidad ecológica al reincorporar las coberturas vegetales nativas. El diseño de siembra deberá facilitar el establecimiento de refugios y zonas de anidación para la fauna local, así como corredores adecuados para la movilidad a través de la cobertura vegetal concéntrica al humedal. Para terrenos planos o con una pendiente menor al 15% se pueden utilizar sistemas de siembra cuadrangular o rectangular, para terrenos con una pendiente mayor al 15% se debe utilizar el sistema de siembra tresbolillo o siembras en contorno.

Cuadro 8. Número de individuos por plantar y distanciamiento por cada gremio ecológico para sitios de rehabilitación de humedales

Gremio ecológico	Fuente	Individuos (ha)
Heliofita efímera (arborescente)	5	55
Heliofita efímera (porte arbóreo)	4	444
Heliofita durable maderable	3	111
Total	12	610

d) Diseños de siembra para la restauración ecológica y la rehabilitación de humedales

Para controlar la escorrentía superficial y la erosión, los diseños de siembra pueden basarse en patrones cuadrados, rectangulares, tresbolillo o siembras en contorno, en función de las curvas de nivel. De acuerdo con la topografía del terreno se puede seleccionar el mejor esquema de siembra. Es importante que en la selección de especies, se sigan las recomendaciones de la cantidad de especies por combinar para cada técnica de implementación. El diseño muestra al gremio al cual pertenece el individuo para sembrar, pero se deben combinar la cantidad de especies recomendadas.

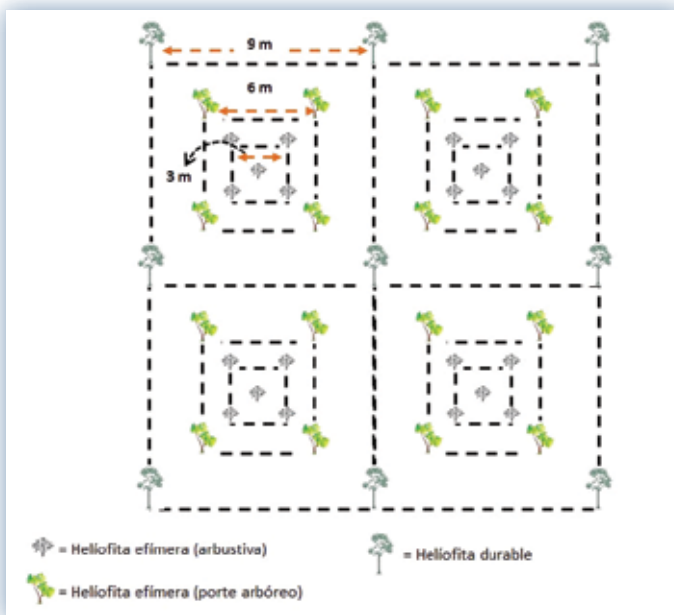


Figura 3. Diagrama de los arreglos de siembra en la acciones de restauración ecológica y rehabilitación de humedales en esquemas cuadrangulares y distribución cuadrada.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

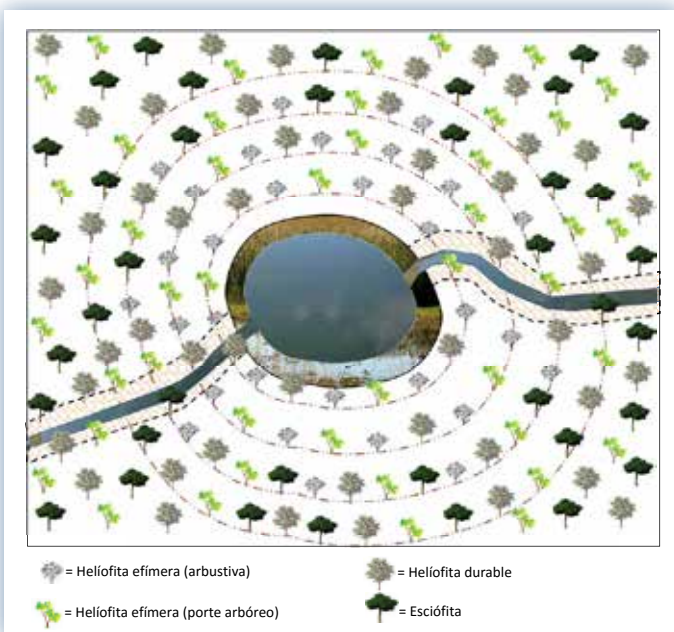


Figura 4. Diagrama de los arreglos de siembra para utilizar en la acciones de restauración ecológica y rehabilitación de humedales, siembra en contorno y en función de las curvas de nivel.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

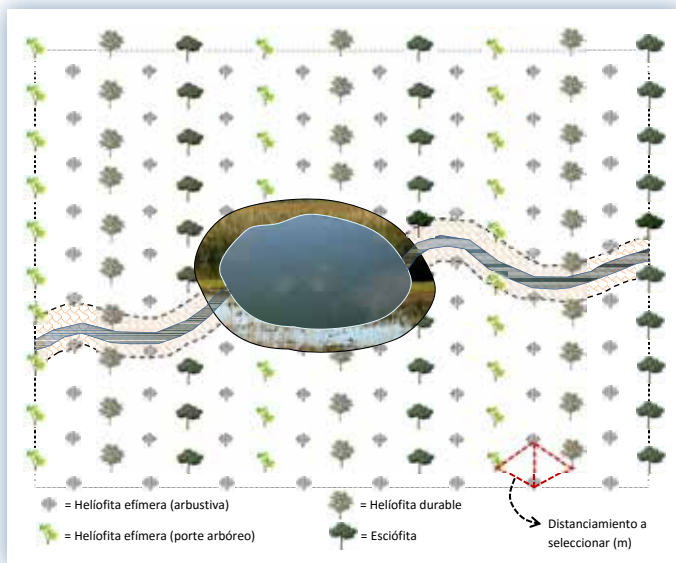


Figura 5. Diagrama de siembra en las acciones de restauración ecológica y rehabilitación de humedales en siembra con el patrón tresbolillo.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

3.2 Restauración de zonas riparias de ríos y áreas de nacientes

Existe a nivel mundial un creciente interés en preservar los ecosistemas fluviales y cada vez son mayores las acciones dirigidas a lograr una adecuada gestión en los ecosistemas relacionados con el recurso hídrico. Pese a este interés se presenta una constante alteración y cada vez se sobreexplota su capacidad. De la misma manera, la contaminación se ha vuelto una constante en todos los hábitats asociados a este recurso (Pringle et ál. 2000). Para las poblaciones humanas los ecosistemas fluviales no solo han sido importante como medio de navegación, sino que abastecen de agua a los centros urbanos y rurales, además los espacios geográficos en conjunto con el agua permiten la producción de energía hidroeléctrica. Sin embargo, la expansión de la frontera agrícola, asociado al aumento de la población ha incrementado la presión sobre estos ecosistemas, lo que ha llevado a perder, en parte, la cobertura vegetal en las zonas de ribera y nacientes, lo que disminuye la calidad y la cantidad de agua (Jacobsen 1998).

Las comunidades vegetales ribereñas, así como las nacientes, son las que se desarrollan adyacentes a los ecosistemas fluviales y su presencia permite mantener la integridad ecológica y favorecer la estabilidad del recurso hídrico (Ceccon 2003; Robins y Cain 2002 y Rzedowski 2006). Al presentar una serie de funciones ecológicas entre los ambientes acuáticos y terrestres, poseen características singulares y desempeñan funciones primordiales para su óptimo funcionamiento. (Fernández et ál. 2009). Estos ecosistemas al ser considerados como zonas de transición entre los sistemas fluviales y terrestres representan un mosaico inusual de diversidad, comunidades, hábitats y ambientes, lo que contribuye a

enriquecer los paisajes (Baker 2006; Lowrance 1996). Los ríos son todos aquellos afluentes que mantienen una corriente natural de agua con un caudal determinado, pero su constancia depende de la estacionalidad climática. La naciente es una fuente natural de agua que brota de la tierra y que puede mantener un caudal constante o discontinuo que da origen a ríos, arroyos y quebradas. Las riberas son una parte esencial de los ecosistemas fluviales y funcionan como zonas de transición entre el medio acuático y el medio terrestre circundante, son consideradas como corredores ecológicos por su función de transporte a lo largo del eje longitudinal del río y constituyen junto con el propio cauce el denominado corredor ripario o fluvial (Dramstad et ál. 1996; González del Tánago 1998).

Muchos de los ríos y nacientes han perdido parte de su territorio, y poco a poco han ido desapareciendo de nuestra geografía. En su mayoría, conservan sus condiciones más naturales en las zonas más retiradas y alejadas de las principales vías de comunicación, donde el relieve montañoso y los suelos son menos productivos. Son lugares que presentan baja densidad de asentamientos humanos, por lo cual la demanda de agua, recursos o energía es menor. Actualmente la mayoría de los ríos mantienen cauces reducidos y fluyen por espacios muy confinados a zonas de cultivos agrícolas, áreas con una alto índice de fragmentación del paisaje y frecuentemente influenciados por obras de infraestructura, lo que los ha llevado a perder su movilidad y sinuosidad. En especial, se han transformado en mecanismos de desagüe de aquellos vertidos domésticos e industriales que muchas veces sobrepasan la capacidad de los ecosistemas para degradarlos.

Los bosques riparios de las diferentes ecorregiones del mundo son florística y estructuralmente los más diversos y su conservación debería ser un componente integral en las estrategias de manejo de cuencas hidrográficas (Robert et ál. 2000).

Las acciones de restauración de las zonas riparias de ríos y nacientes pueden ser estrategias que permitirán, en un futuro, devolver a estos ecosistemas mayores atributos ecológicos para mejorar la calidad y cantidad de agua en sus caudales.

3.2.1 Objetivos de la restauración de zonas riparias de ríos y áreas de nacientes

- Recuperar las franjas de cobertura en las zonas de riberas y nacientes como un medio de protección y conservación.
- Promover lineamientos de restauración para los zonas de riberas y nacientes que presenten alteraciones significativas de los componentes de vegetación y suelo.
- Incorporar directrices locales y regionales en cuanto a las normas de ordenamiento territorial que permitan una adecuada gestión de las cuencas hidrográficas.
- Apoyar programas de gestión ambiental con el fin evitar el ingreso de aguas residuales de origen doméstico e industrial a las zonas de ríos y nacientes.

- Involucrar a los propietarios y a las comunidades locales en las acciones de restauración de ríos, riberas y nacientes.
- Coordinar y cooperar con las instituciones gubernamentales, regionales y locales relacionadas con el uso y conservación del recurso hídrico.
- Fomentar la conservación, uso racional y restauración de las zona de ríos y nacientes.
- Mejorar la oferta en cuanto a calidad y cantidad de agua en los ríos y nacientes.
- Contribuir a los procesos de restablecimiento de cobertura arbórea en las zonas riparias de ríos y subyacentes a las nacientes.
- Contribuir al mantenimiento de la biodiversidad y la recuperación de las zonas de ribera de ríos y nacientes.
- Fomentar los medios que permitan una adecuada conservación y uso del suelo de las cuencas hidrográficas asociadas a los ríos y nacientes.
- Disminuir la escorrentía superficial y favorecer la infiltración con el propósito de aumentar las reservas y la regulación del recurso hídrico.

3.2.2 Selección de los sitios por restaurar

Diseñar estrategias con el propósito de restaurar zonas de ribera y nacientes conlleva un conjunto de actuaciones en cuanto al funcionamiento de los ecosistemas. En el mismo sentido, es importante contemplar los criterios socioeconómicos que rigen cada región o país y tomar en cuenta la relevancia histórica y cultural de las relaciones humanas con los recursos naturales. La restauración de zonas de riberas y nacientes debe estar acompañada de un buen plan de gestión de la cuenca hidrográfica, que permita la conservación con una buena integridad ecológica, y a su vez, priorice las áreas degradadas que requieren acciones de restauración. Estas acciones deben enfocarse en la recuperación y mejora de los procesos que mantienen la integridad de sus dimensiones y que reconstruya la estructura biológica de sus comunidades.

La selección de los sitios por restaurar es una de las etapas iniciales de todo proyecto de restauración, y para un buen indicador de éxito, es importante encontrar territorios donde confluyan los intereses de las poblaciones locales y las instituciones gubernamentales para evitar posibles conflictos que afecten el proyecto de restauración. La selección del área debe basarse en una priorización técnica, considerar las necesidades de la comunidad y contener criterios de estrategias globales de conservación, o de las políticas de gestión de autoridades públicas y organizaciones ejecutoras. Asimismo se debe considerar una evaluación de los factores físicos, biológicos y sociales de influencia sobre el sitio meta. La construcción de una matriz que permita integrar estos factores, será una herramienta de mucha ayuda para seleccionar los sitios por restaurar. Descubrir aquellas tensionantes como elementos que provocan alteraciones al ecosistema y la asignación de una escala de valor, de acuerdo con el grado de afectación en conjunto con la valoración de las potencialidades que se tienen en el sitio, permite definir a través de la matriz la priorización de los sitios por restaurar.

Para la selección de sitios por restaurar, Fernández y Fernández (2011) recomienda un análisis a dos escalas: (1) Escala de paisaje, se busca identificar, calificar y cuantificar los elementos y patrones del paisaje que faciliten o limiten la restauración del sitio, y (2) Escala de sitio, tiene como objetivo identificar, calificar y cuantificar los distintos componentes estructurales (suelo, flora y fauna) que faciliten su restauración. Con el primer punto se recurre a los sistemas de información geográfica y con la utilización de mapas de vegetación, imágenes satelitales y fotografías aéreas, se realiza una interpretación de los componentes del paisaje que pueden facilitar o limitar las acciones de restauración. En cuanto a la escala de sitio es importante evaluar los estados de degradación para establecer el grado de viabilidad de los procesos ecológicos propios del ecosistema que se pretende restaurar (Fernández y Fernández 2011). La Figura 40, es una guía que permite identificar la estrategia de restauración en función de las causas de degradación en los ecosistemas de zonas de riberas y nacientes para definir la estrategia con las potenciales actuaciones por implementar.

Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR)

El Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR) propuesto por Munné et ál. (1998 y 2003), es una de las herramientas para conocer el estado de las zonas de riberas y nacientes, y así, poder seleccionar los sitios por restaurar. Este índice permite cuantificar y calificar la “calidad ecológica” de las zonas de ribera en los ecosistemas de ríos y nacientes. Consta de cuatro métricas que recogen distintos componentes y atributos de las riberas:

- Grado de cobertura de la zona de ribera,
- estructura o grado de madurez de la vegetación de ribera,
- complejidad y naturalidad de la de ribera y,
- grado de alteración del canal fluvial.

Los valores del índice se distribuyen en cinco rangos de calidad desde una muy buena calidad que indica un bosque de ribera sin alteraciones, a una muy mala calidad que señala degradación extrema de la ribera. Cabe destacar que el índice QBR no está sujeto a una variabilidad estacional pues utiliza como indicador biológico la vegetación arbórea, arbustiva y el matorral perenne (Munné et ál. 1998 y 2003). Este índice valora el estado de conservación de bosque y lo compara con un estado referencia donde la biodiversidad y funcionalidad del sistema solamente estarían influidas por perturbaciones naturales. De esta manera se puede considerar todas aquellas áreas dentro de calidad intermedia, mala y pésima (rojo, naranja y amarillo), como las áreas donde se requieren implementar acciones de restauración.

Se recomienda consultar las publicaciones de Munné, A.; Sola, C. y Prat, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera y Munné, A., Prat, N.; Sola, C.; Bonada, N. y Rieradevall, M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams. QBR index.

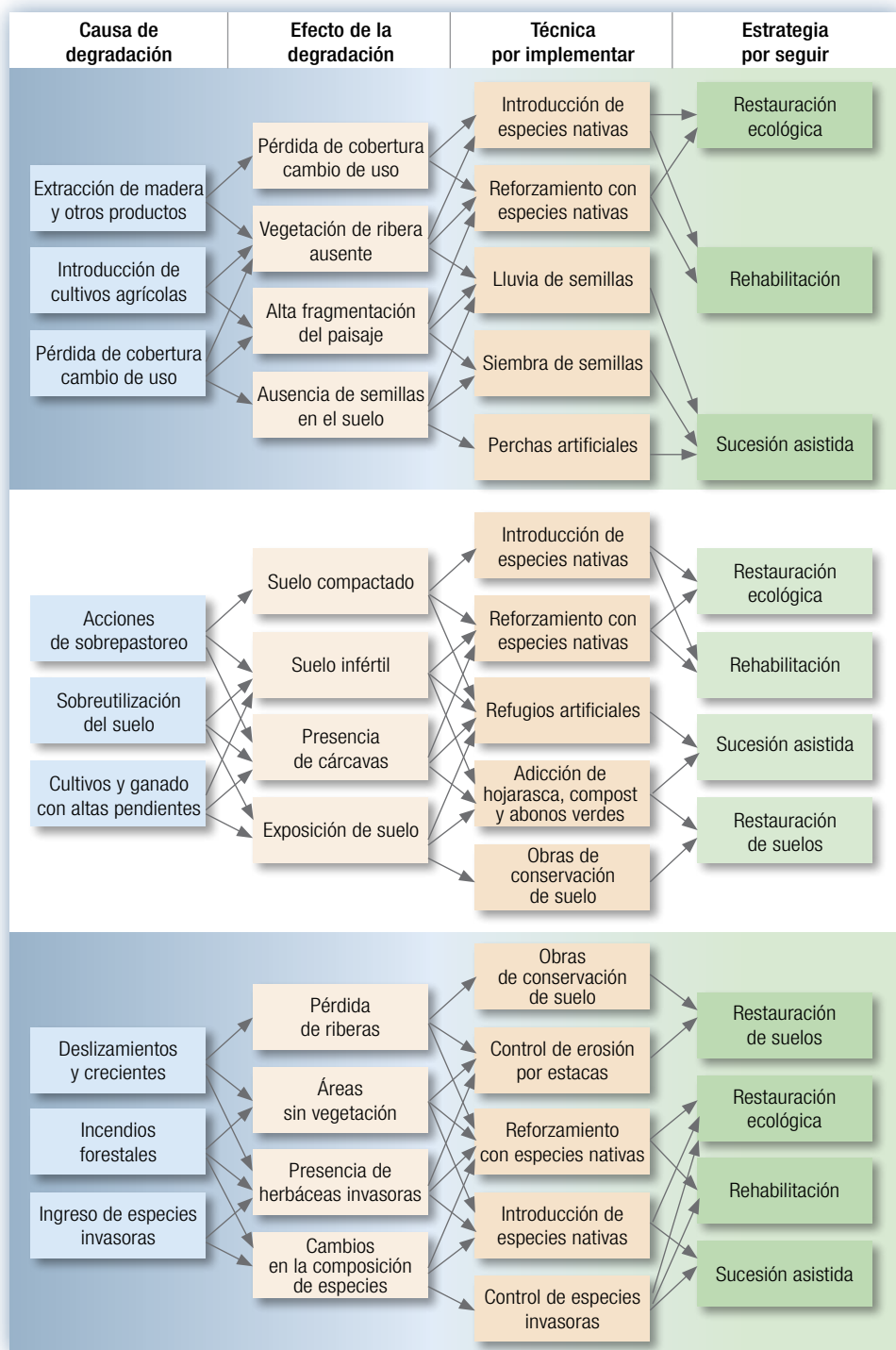


Figura 6. Diagrama para la identificación de las actuaciones en la restauración de zonas de riberas y nacientes en función de la causas de la degradación, sus alteraciones y posibles técnicas por implementar.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

Cuadro 9. Características de cada uno de los subsistemas que componen los ecosistemas acuáticos

Nivel de Calidad	Estado de calidad	Valor de QBR	Color representativo
Bosques de ribera sin alteraciones (estado natural)	Muy buena	≥ 95	Azul
Bosque ligeramente perturbado	Buena	75-90	Verde
Inicio de alteración importante	Intermedia	55-70	Amarillo
Alteración fuerte	Mala	30-50	Naranja
Degradación extrema	Pésima	≤ 25	Rojo

Fuente: Muné et ál. 1998, 2002.

3.2.3.1 Técnicas de implementación

a) Sucesión asistida a través de técnicas de nucleación para riberas y nacientes

La sucesión asistida se utilizará en aquellos sitios donde el potencial de la regeneración natural se ha visto reducida, debido al grado de alteración y deterioro que ha sufrido el ecosistema, por tanto, la fuente de propágulos por semillas o rebrotes es baja o inexistente. El empleo de esta técnica requiere conocer la oferta de mosaicos de vegetación y entender la dinámica de la sucesión natural de las trayectorias sucesionales en su composición de especies (herbácea, arbustiva, arbórea) con el fin de reconocer las especies potenciales que se deben utilizar en las técnicas de sucesión asistida. Los acápites 1.1.3 y 2.1.1.3 explican los fundamentos técnicos y ecológicos del empleo de estas técnicas, se recomienda revisar para una mejor comprensión del tema.

Actuaciones para implementar:

I. Perchas artificiales

Esta técnica utiliza trozos de madera (postes, ramas, varas de bambú, entre otros) que sirven de perchas para aves y murciélagos.

- a. Perchas artificiales en cruz.
- b. Perchas secas (en forma de ramas).
- c. Perchas naturales (ramas secas).
- d. Perchas vivas (postes con lianas plantadas en la base).
- e. Percha de cable aéreo (cables conectados entre fragmentos, árboles o postes de cerca pasando sobre las áreas degradadas).
- f. Torre de lianas (tres postes apoyados uno en el otro en forma de pirámide con lianas plantadas a sus pies).
- g. Torres de bambú (tres varas de bambú con sus ramas vivas).
- h. Percha de árbol muerto.

II. Siembra directa de semillas

Consiste en la introducción de las semillas de especies arbóreas directamente en el área por ser restaurada en núcleos que permite la regeneración asistida.

III. Siembra de especies funcionales en grupos de Anderson

La siembra de árboles en grupos de Anderson (Anderson 1953) es una técnica que busca incrementar la diversidad interna de los fragmentos desprovistos de vegetación en las áreas de restauración.

IV. Transposición de suelos

Esta técnica tiene como objetivo restablecer proporciones de suelo, uno de los componentes más importantes en los ecosistemas que favorece la regeneración.

V. Formación de refugios artificiales (madrigueras)

Dado que en las áreas abiertas se da una alta exposición de los animales a sus predadores, con la construcción de refugios artificiales (madrigueras) se busca ofrecer un abrigo seguro para la fauna, y así, aumentar la frecuencia y permanencia de visitantes (roedores, reptiles, anfibios, etc.)

VI. Lluvia de semillas por transposición o búsqueda en otras fuentes

Esta técnica consiste en facilitar el proceso de regeneración a través de la transposición e introducción de semillas.

VII. Establecimiento en campo de las técnicas de nucleación

Se recomienda la combinación de las técnicas de nucleación para diferentes tramos de ribera que se requieren restaurar, permite promover todos los componentes, que cada una de las técnicas fomenta para acelerar los procesos de sucesión natural, fomentar la funcionalidad y potenciar el éxito. La Figura 7 presenta el diagrama transversal de las diferentes zonas ecológicas, protectoras y productivas que pueden conformar la ribera de los ríos. Como guía de campo para distribuir las técnicas de nucleación se puede seguir lo recomendado en la Figura 10 y el Cuadro 10, en algunos casos se podrá combinar todas las técnicas, en otros, será necesario valorar los atributos que tiene el ecosistema por restaurar y tratar de potenciar aquellos donde exista una mayor necesidad.

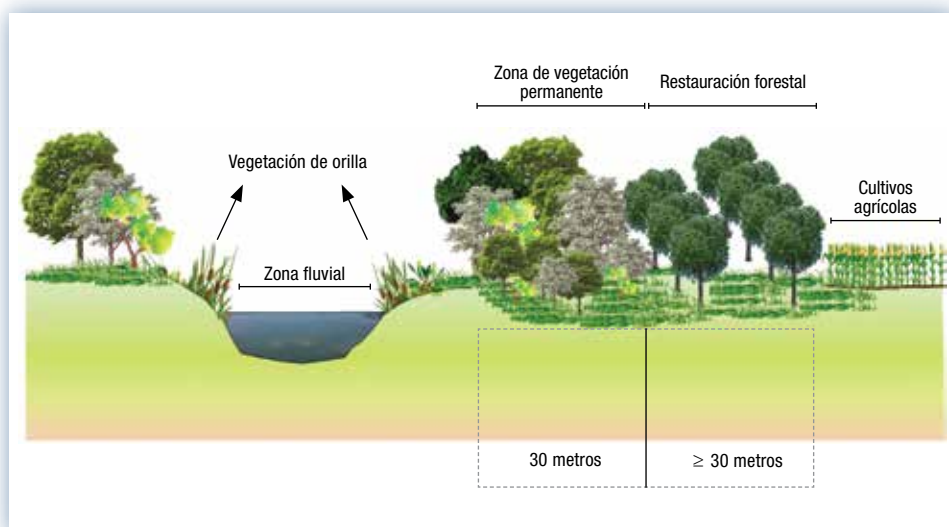


Figura 7. Perfil transversal de las zonas de ríos con las distintas franjas de coberturas arbórea y su tamaños mínimos propuestos.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

Cuadro 10. Descripción y simbología de las técnicas de nucleación por utilizar en la sucesión asistida en zonas de ribera y nacientes

Técnica de nucleación	Símbolo
Perchas	
Siembra directa de semillas	
Plántulas en grupos de Anderson	
Transposición de suelos	
Refugios artificiales	
Lluvia de semillas	

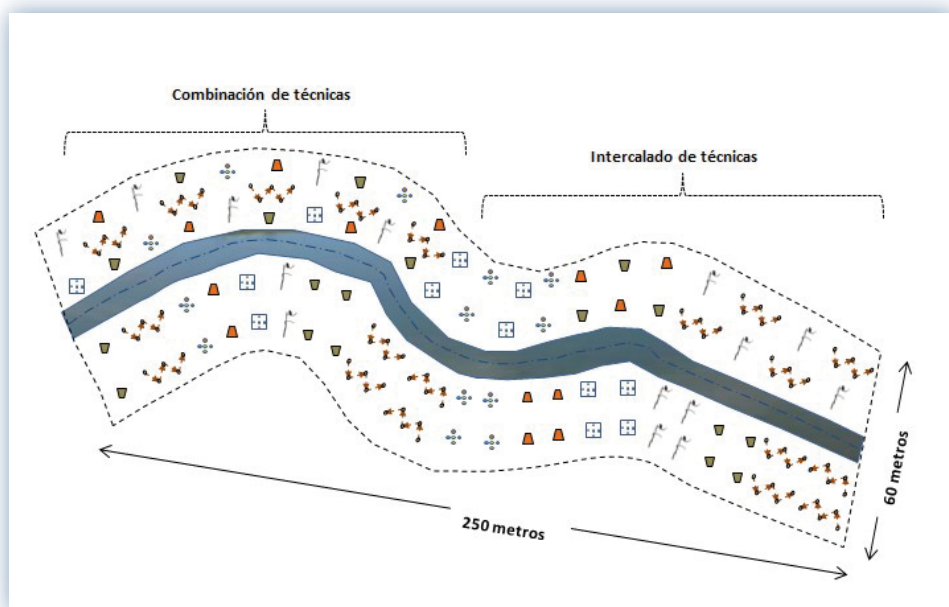


Figura 8. Diagrama de las técnicas de nucleación por combinar con la sucesión asistida en zonas de ribera.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

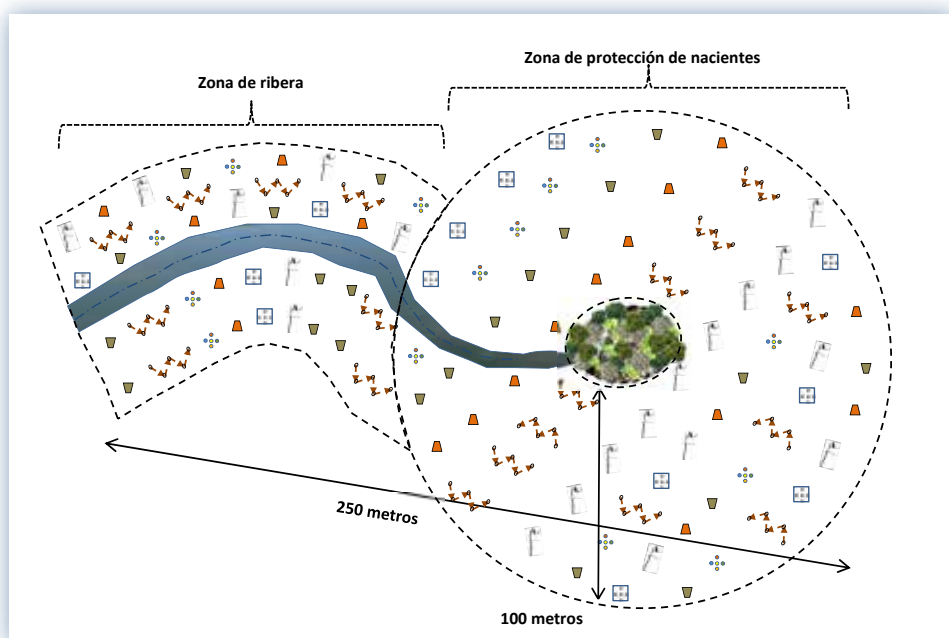


Figura 9. Diagrama de las técnicas de nucleación por combinar con la sucesión asistida en zonas de protección de nacientes.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

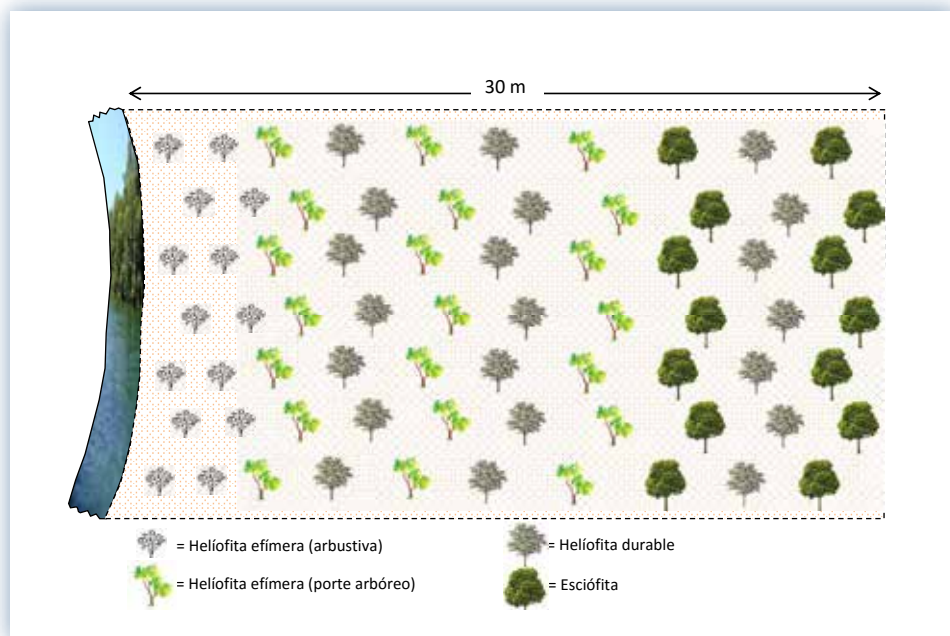


Figura 10. Diagrama de siembra sugerido para los tramos de ribera con restauración ecológica.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

b) Restauración ecológica de riberas y nacientes

Las zonas de riberas y nacientes requieren una cobertura permanente de vegetación como barrera de sedimentos que controle la erosión y mantenga una condición de humedad que favorezca las condiciones ecológicas del sitio. Estas franjas de protección permiten estabilidad al cauce y cohesión al suelo para evitar potenciales deslizamientos. La cobertura permite dar un aporte de materia orgánica que favorece los eslabones tróficos de las comunidades biológicas. Las bandas protectoras del cauce de los ríos y nacientes, son franjas de vegetación riparia que bordean los cauces y las nacientes, cuya estructura está diseñada para que ejerzan una función de filtro, y evitar así, el arribo de contaminación o sedimentos al caudal fluvial o al afloramiento de agua en las nacientes.

1. Selección de especies en las propuestas de restauración ecológica de humedales

Las especies representativas de los ecosistemas referencia o zonas aledañas a los sitios por restaurar serán las más idóneas para el establecimiento de la plantas. Deben ser representativas de la vegetación y los grupos ecológicos de la secuencia sucesional de los bosques en la zona del proyecto. Para las zonas de cobertura arbórea se pueden utilizar especies heliófitas efímeras de porte arbustivo (entre 3 a 4 metros) que tengan una alta productividad de semillas en etapa temprana y que puedan ofrecer recursos alimenticios a la fauna local (frutos, hojas, semillas), agregar además en el ensamble de siembra, especies heliófitas efímeras de porte arbóreo en conjunto con especies de heliófitas durables y en algunos casos incluir especies esciófitas.

Cuadro 11. Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar en las zonas de cobertura permanente de los humedales

Tamaño del tramo (m)	Heliofita efímera (arbustiva)	Heliofita efímera (porte arbóreo)	Heliofita durable	Esciófita	Total (especies)
0-200	2-3	2-3	2-3	2-3	10-12
200-500	3-4	4-5	4-5	3-4	12-16
500-1 000	4-5	5-6	5-6	4-5	16-20
> 1 000	5-6	7-8	7-8	5-6	20-30

2. Establecimiento en campo

Para la siembra en campo se recomienda utilizar un sistema de tresbolillo (pata de gallina), o preferiblemente siembras en contorno, en función de las curvas de nivel en terrenos quebrados para controlar la erosión y la escorrentía superficial. La cantidad de individuos dependerá del tamaño del tramo y el ancho de la franja por restaurar. El Cuadro 12, muestra los distanciamientos recomendados por grupo ecológico.

Cuadro 12. Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada gremio ecológico por utilizar en relación con su sistema de siembra en los tramos riberas con restauración ecológica

Gremio ecológico	Distanciamiento (m)	Tamaño del tramo de ribera (334 m) ¹	
		Cuadrado	Tresbolillo*
Heliofita efímera (arbustiva)	2 x 2	190	218
Heliofita efímera (porte arbóreo)	3 x 3	284	328
Heliofita durable	4 x 4	284	218
Esciófita	4 x 4	190	328
Total de plantas		948	1 092

1 = Este tamaño de tramo equivale a 1 hectárea con una franja de 30 metros de ancho.
* Siembra en sistema tresbolillo, la densidad de siembra es igual a: (d x d) x seno 60°.

c) Rehabilitación de riberas y nacientes

Los tramos de riberas o nacientes por seleccionar para la rehabilitación deben ser dirigidas a aquellas áreas degradadas donde las opciones de recuperación por regeneración espontánea, de especies de árboles y arbustos, están severamente limitadas. Asimismo, se puede combinar con plantaciones forestales productivas en las zonas de amortiguamiento. Estos planes de rehabilitación que se implementen en las zonas de amortiguamiento podrán incluir dentro del marco legal de las políticas de manejo, acciones de rehabilitación a escala productiva. Se pueden introducir también especies que permitan dar aportes económicos a los dueños de estas áreas. El proceso de rehabilitación en áreas protegidas buscará principalmente establecer ensambles de paisaje para favorecer el flujo de vertebrados e invertebrados.

1. Selección de especies y medios de reproducción

La selección de las especies es un paso fundamental en todo proyecto de restauración, pero no existe una receta única que permita definir la más adecuada para el proyecto. El propósito principal es elegir un número adecuado de especies para que los recursos disponibles (agua, luz y nutrientes) puedan ser utilizados de la manera más eficiente, y a su vez, la degradación sea absorbida o asimilada por el conjunto de especies que se establecen. En este sentido, la plantación de árboles nativos o de especies pioneras dominantes y de importancia ecológica deben tener atributos alimenticios que será de gran ayuda para favorecer la llegada de fauna y así, potenciar las acciones de restauración. A través de la observación de las distintas especies que conforman el paisaje local, en distintas etapas de regeneración natural, se pueden identificar especies de utilidad que tienen un alto potencial de uso en las acciones de restauración. Uno de los rasgos que ayuda en la selección, es encontrar especies que presentan mayor abundancia y tienden a formar núcleos de regeneración, lo que contribuye significativamente a la construcción estructural de la vegetación.

De acuerdo con Rondón y Vidal (2005), entre las características morfológicas y ecofisiológicas de las especies a tomar en cuenta se puede considerar:

- Follaje grande y fuerte.
- Propagación sencilla y rápida.
- Sistema radicular profundo.
- Rápido crecimiento.
- Resistencia contra la sedimentación.
- Preferiblemente especies autóctonas.
- Especies rústicas (pioneras, invasoras), poco exigentes a la calidad de sitio.
- Que requieran mínimas labores de mantenimiento, como riego, aplicación de fertilizantes, limpieza, podas, etc.
- Resistencia a las plagas y enfermedades.
- Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios (capacidad de rebrotes).
- Que sean poco palatables (apetecidas por el ganado).
- Que ofrezcan alguna utilidad a las comunidades locales en aquellos casos que sean para utilizar en las zonas de amortiguamiento.

2. Establecimiento en campo

Para terrenos planos, en especial, se deben utilizar especies autóctonas y con sistema de siembra cuadrangular o rectangular (pendiente < 15%). Para terrenos quebrados (pendiente > al 15%) se debe utilizar el sistema de siembra tresbolillo (pata de gallina), lo cual permite

controlar la escorrentía superficial y evitar la erosión de suelos. El Cuadro 13 y la Figura 11 presentan los distanciamientos y el diagrama de los arreglos de siembra propuestos. Este diseño de siembra recomendado no excluye la utilización de otras combinaciones de distanciamiento, lo importante es combinar especies con diferentes necesidades de luz, tasas de crecimiento y equilibrar la distribución de espacios para que se logre formar los diferentes estratos del bosque en el menor tiempo posible. El diagrama incluye una franja de amortiguamiento de 100 metros con plantaciones forestales productivas, con el fin de favorecer el ensamble de los hábitats de ribera nacientes con el paisaje circundante.

Cuadro 13. Especies, número de individuos y distanciamiento para cada gremio ecológico para sitios de rehabilitación en las zonas de riberas y nacientes y zonas de amortiguamiento

Gremio ecológico	Especies	Distanciamiento (m)
Heliofita efímera (arbustiva)	4	3 x 3
Heliofita efímera (porte arbóreo)	4	3 x 3
Heliofita durable	3	4 x 4
Esciófita	2	4 x 4

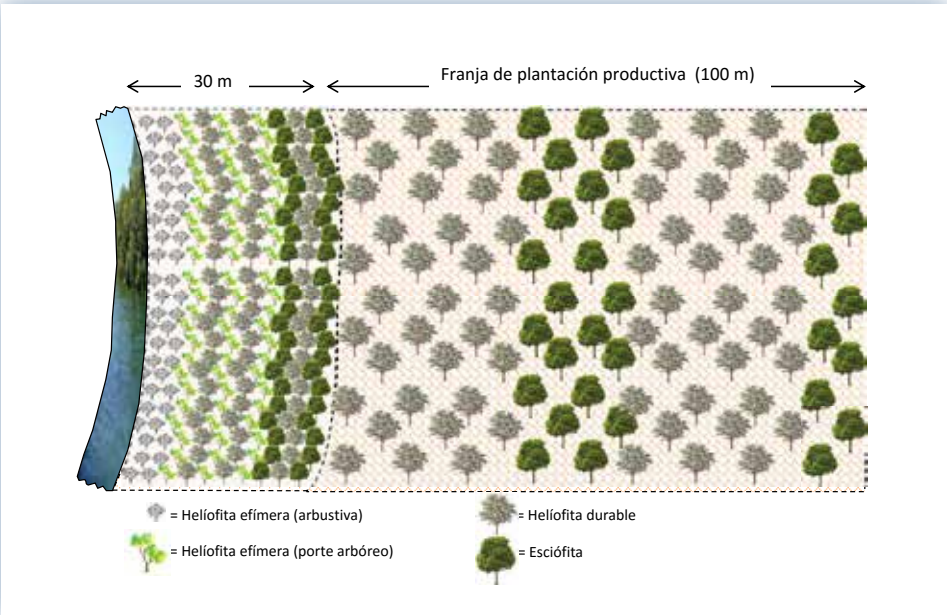


Figura 11. Diagrama de los arreglos de siembra para utilizar en las acciones de rehabilitación en riberas y nacientes.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

d) Prácticas de conservación de suelos para zonas de ribera y nacientes

La degradación del suelo es una limitante para las actividades de restauración, no contener o controlar aquellas causas que provocan la pérdida de suelos, restringe su estabilidad y puede ser una restricción a la hora de implementar proyectos de restauración vegetal. El suelo es considerado un recurso natural no renovable, en especial por lo difícil y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de su degradación. El suelo es la capa superficial compuesta de materia mineral y orgánica, es un recurso fundamental para el buen crecimiento de la vegetación. La restauración de ecosistemas forestales es una práctica que favorece la protección, conservación y restauración de suelos forestales, pero deben estar acompañadas de prácticas que contribuyan a disminuir su degradación. De tal manera que aquellos sitios que presenten evidencias de degradación, requieren la introducción de prácticas específicas de manejo y recuperación. A continuación, se mencionan diferentes estrategias, que en términos generales, buscan disipar la energía del agua y disminuir el arrastre de los sedimentos, mejora la infiltración y estabiliza los suelos con signos de degradación.

Cuadro 14. Guía de tratamientos recomendados en la conservación de suelos para el control de erosión, basado en Francke et ál. (2004)

Tratamientos de conservación de suelos para el control de erosión	
Tratamientos generales	Tratamientos específicos
Regulación de flujos hídricos	• Canal de desviación o difusión de aguas • Canal longitudinal • Canal transversal simple • Canal transversal compuesto
Incremento de la infiltración	• Zanja de infiltración • Terraza forestal
Obras lineales de laderas y taludes	• Presas con postes de madera • Presas de ramas • Presas de sacos o geotextil • Presas con neumáticos
Cubiertas superficiales	• Esteras de especies forestales • Esteras de especies agrícolas
Regulación de flujos hídricos en cauces	• Diques de postes de madera • Diques de estructuras gavionadas • Disipadores de corriente
Control y estabilización de taludes	• Estructuras de postes de madera • Muro con sacos rellenos • Muro de neumáticos • Muro de postes de madera
Tratamientos biológicos	• Siembra de especies agrícolas en contorno • Siembra de especies forestales en contorno • Hidrosiembra

Obras para conservación de suelos y control de erosión en cárcavas

1. Tratamientos de regulación de flujos hídricos

- a. **Canal de desviación o difusión de aguas:** esta técnica se utiliza con el fin de regular los caudales y, en algunos casos, desviarlos a lugares con una menor pendiente o mayor cobertura vegetal.

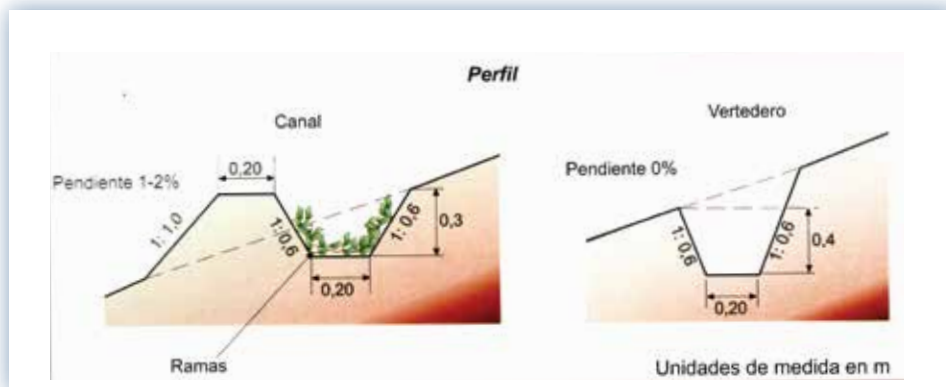


Figura 12. Esquema de construcción del canal de desviación o difusión de aguas, tomado de Francke et ál. (2004).

- b. **Canal longitudinal de sacos:** esta técnica permite evacuar el agua a través de pequeños canales cubiertos de sacos y se utilizan en áreas de escurrimiento moderado o medio.

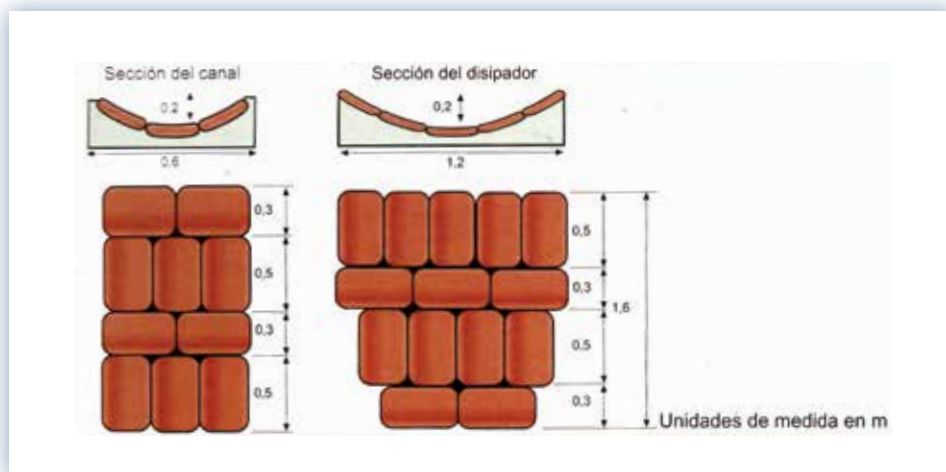


Figura 13. Esquema de construcción del canal longitudinal de sacos, tomado de Francke et ál. (2004).

c. **Canal transversal simple:** permite evacuar el flujo hídrico de escorrentía moderada en caminos de pendientes moderadas.

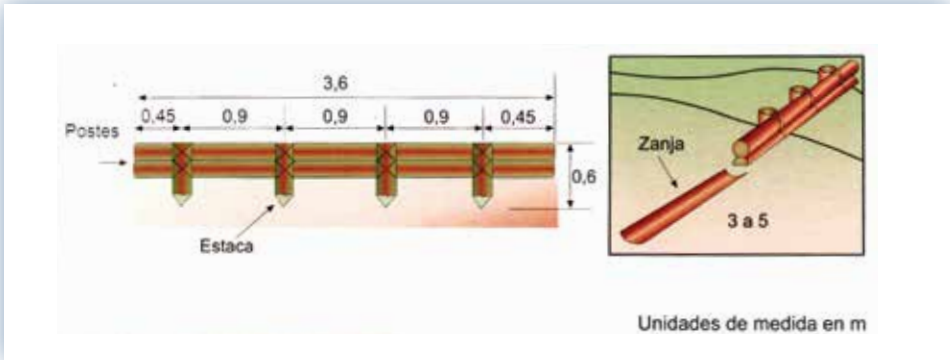


Figura 14. Esquema de construcción del canal transversal simple, tomado de Francke et ál. (2004).

2. Tratamientos de incremento de la infiltración

a. **Zanja de infiltración:** esta técnica permite acumular el caudal de los flujos hídricos lo que favorece su infiltración y disminuye la escorrentía superficial.

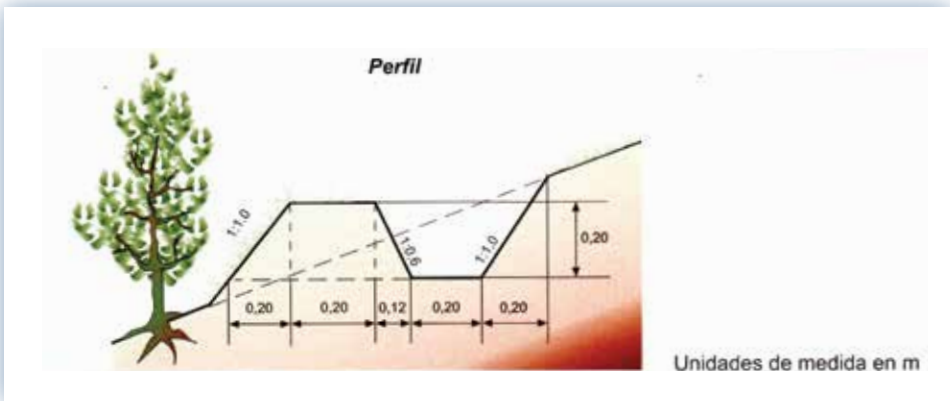


Figura 15. Esquema de construcción de la zanja de infiltración, tomado de Francke et ál. (2004).

b. **Terraza forestal:** mejora la infiltración y controla la escorrentía y se utiliza en terrenos con pendientes moderadas.

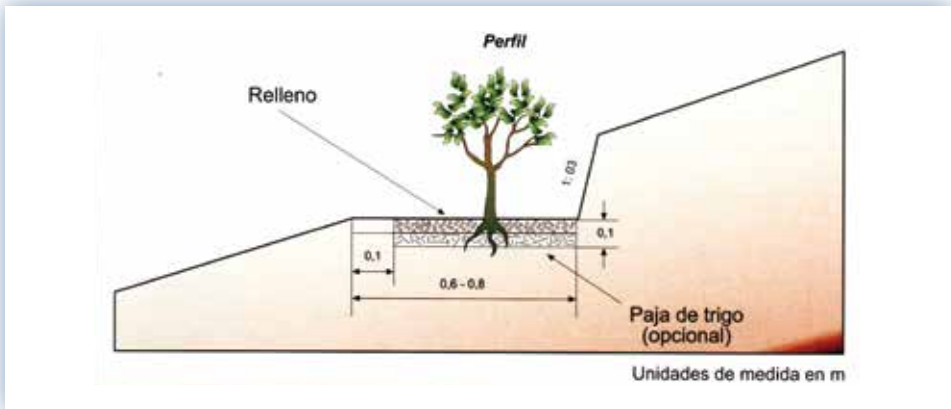


Figura 16. Esquema de construcción de terraza forestal, tomado de Francke et ál. (2004).

3. Tratamientos lineales de control de erosión

a. **Presas con postes o tronco de madera:** con los recursos en el campo como postes o troncos de árboles de diámetros pequeños se pueden conformar estructuras que disminuyan la velocidad de los flujos superficiales.

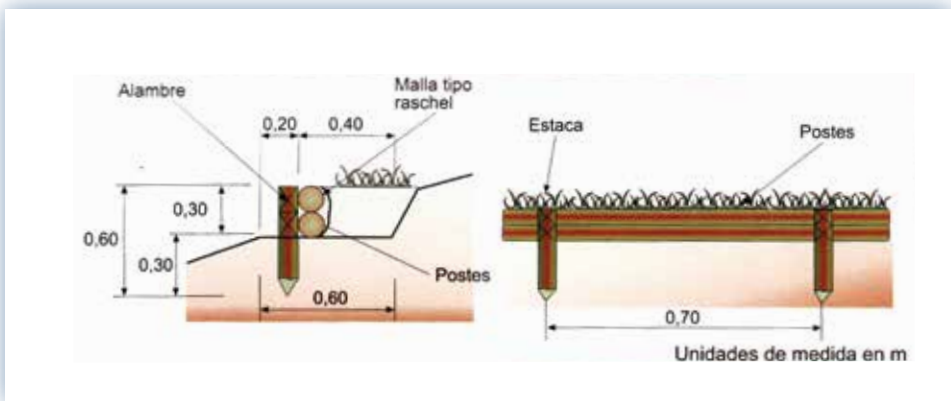


Figura 17. Esquema de construcción de presas con postes o tronco de madera, tomado de Francke et ál. (2004).

- b. **Presas de ramas:** con las ramas se pueden construir pequeñas barreras para controlar la erosión y disipar la escorrentía.

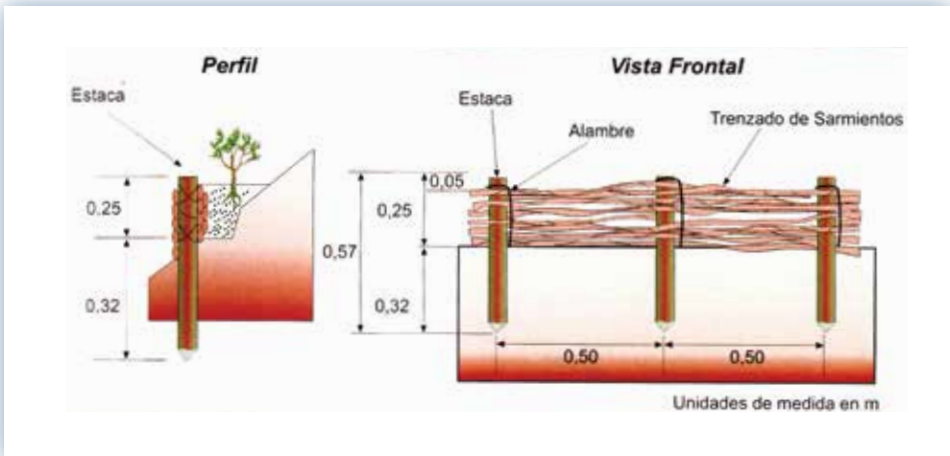


Figura 18. Esquema de construcción de presas de ramas, tomado de Francke et ál. (2004).

- c. **Presas de sacos o geotextil:** los sacos rellenos o malas de geotextil permiten construir barreras en taludes para el control de erosión.

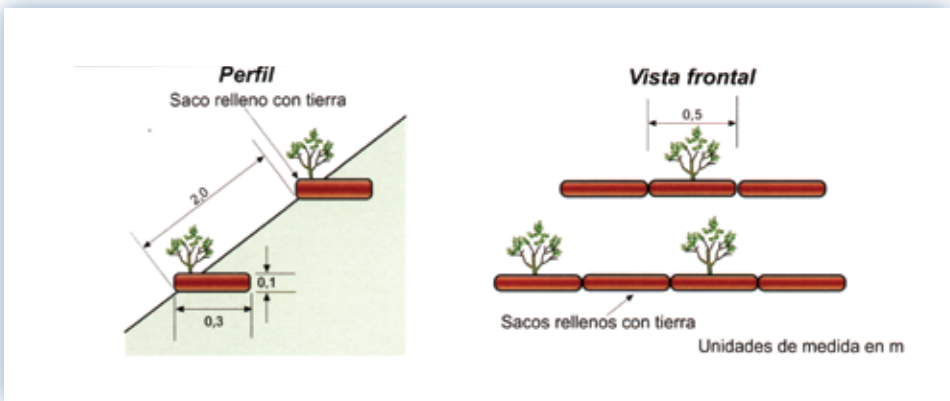


Figura 19. Esquema de construcción de presas con sacos o geotextil, tomado de Francke et ál. (2004).

- d. **Presas con neumáticos:** con los neumáticos o llantas de desecho se pueden construir barreras para el control de erosión en taludes.

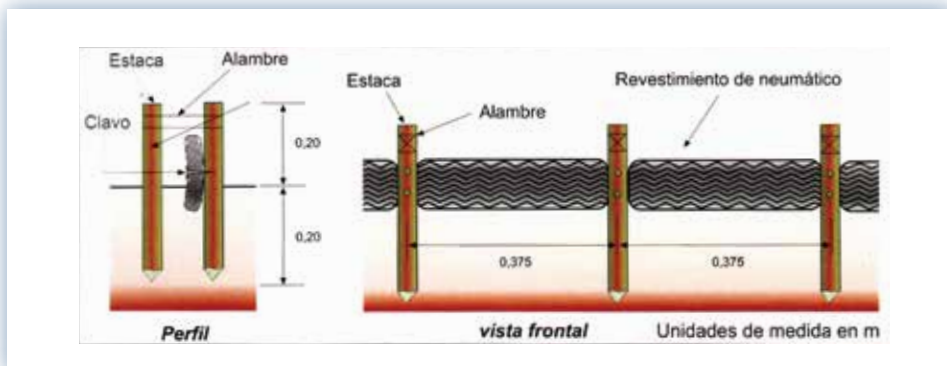


Figura 20. Esquema de construcción de presas con neumáticos, tomado de Francke et ál. (2004).

4. Tratamientos de cubiertas superficiales

- Esteras de especies forestales:** los materiales de vegetación de especies forestales, como ramas pequeñas, caña brava, juncos y otros materiales vegetales, se pueden usar para cubrir el suelo y disminuir la erosión cuando se encuentran expuestos, favorece la infiltración al retener mayor humedad y aportar materia orgánica al suelo.
- Esteras de especies agrícolas:** cumplen la misma función que el tratamiento anterior, a diferencia de que se utilizan materiales de desecho de especies de uso agrícola, como maíz, paja de arroz, etc.

5. Tratamientos para la regulación de los flujos hídricos en cauces

- Diques de postes o troncos de madera:** se construyen barreras que impiden el socavado del lecho de cárcavas, lo que regula el flujo hídrico y permite contener los sedimentos (Figura 21).
- Diques de estructuras gavionadas:** estas son estructuras más fuertes y permiten amortiguar el impacto del flujo hídrico lo que regula su escorrentía. Se utiliza en cauces medianos y mayores (Figura 22).
- Disipadores de corriente:** funciona para disipar y amortiguar la corriente del flujo de agua y se complementa con otras obras (Figura 23).

6. Tratamientos de control y estabilización de taludes

- Estructuras de postes o troncos de madera:** permite estabilizar los taludes y es recomendada en zonas de siembras de proyectos de restauración (Figura 24).
- Muro con sacos rellenos:** se utiliza especialmente para estabilizar los cursos de agua en cauces y modera el impacto lateral (Figura 25).
- Muro de llantas o neumáticos:** son estructuras bien conformadas que permiten estabilizar taludes (Figura 26).

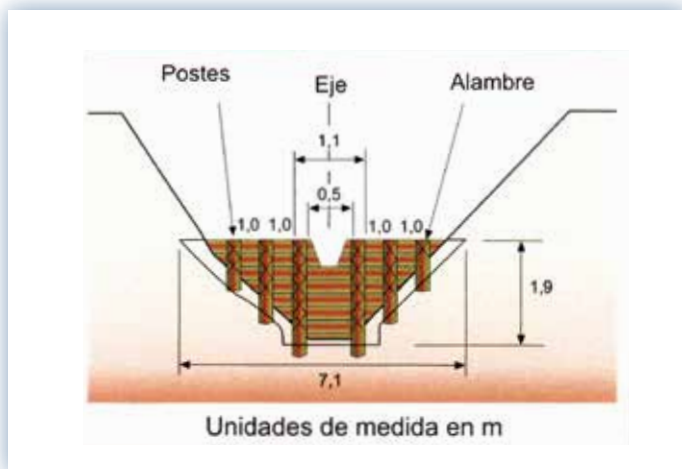


Figura 21. Esquema de construcción de diques con postes o troncos de madera, tomado de Francke et ál. (2004).

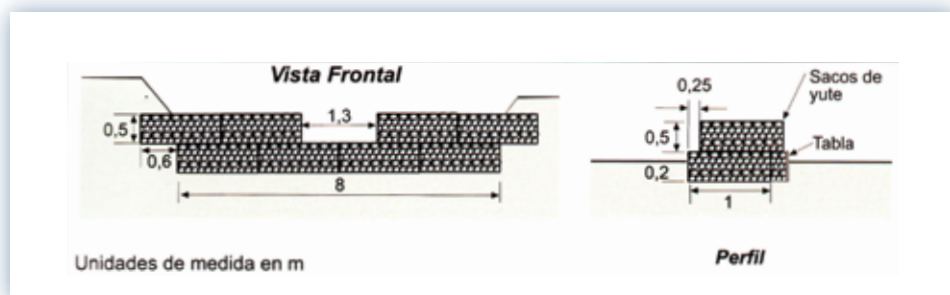


Figura 22. Esquema de construcción de diques con estructura gavionada, tomado de Francke et ál.(2004).

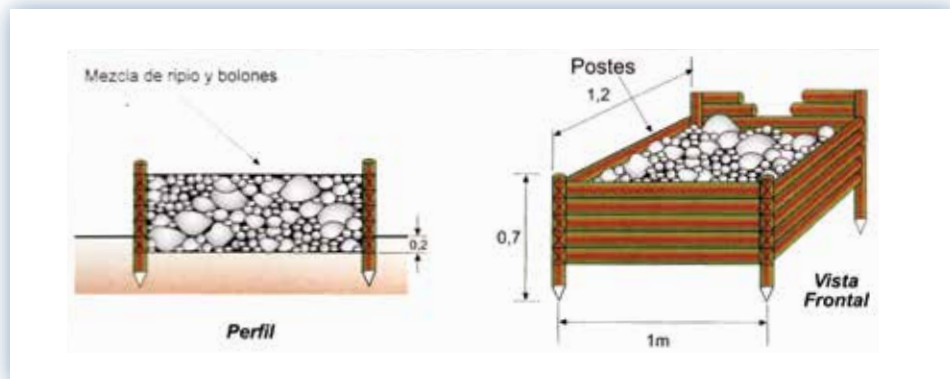


Figura 23. Esquema de construcción de dissipadores de corriente, tomado de Francke et ál. (2004).

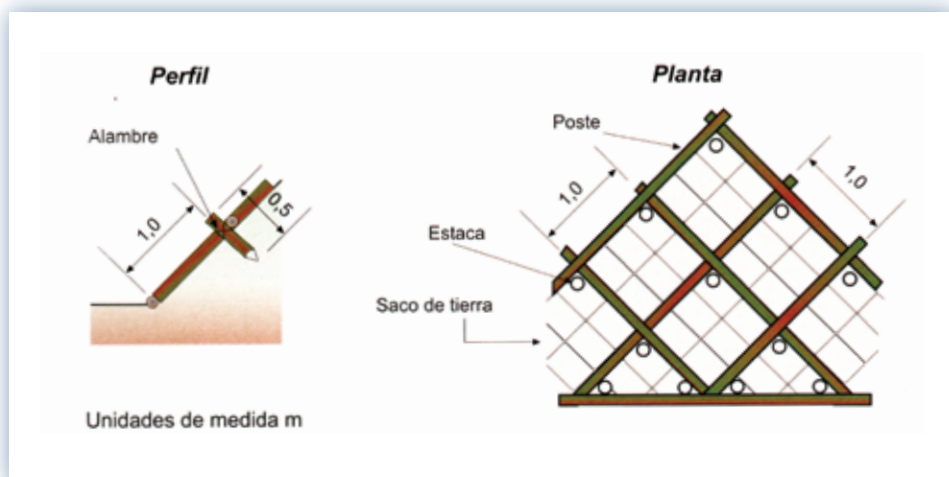


Figura 24. Esquema de construcción de estructuras de postes o troncos de madera, tomado de Francke et ál. (2004).

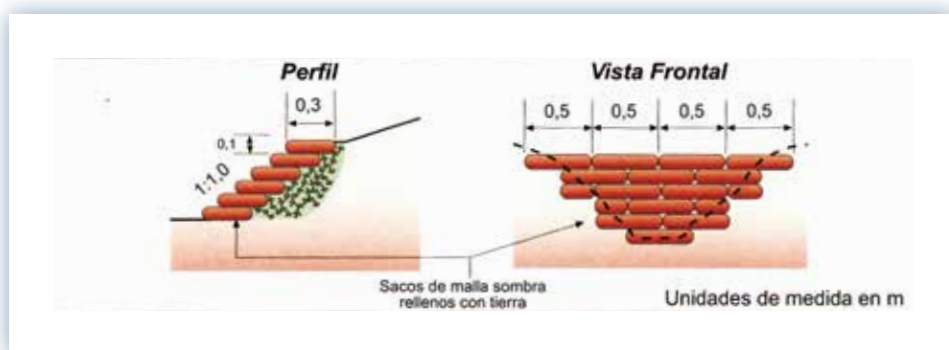


Figura 25. Esquema de construcción de muros con sacos rellenos, tomado de Francke et ál. (2004).

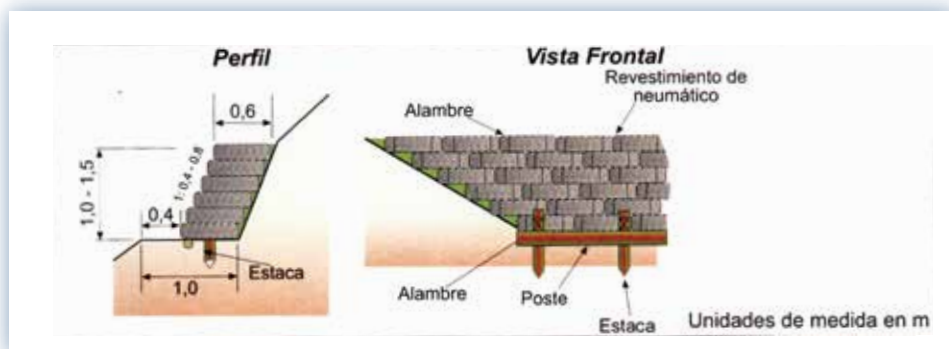


Figura 26. Esquema de construcción de muros con llantas o neumáticos, tomado de Francke et ál.(2004).

- d. **Muro de postes o troncos de madera:** puede usarse para estabilizar taludes o laderas con claras evidencias de erosión. Permite variar su altura para diferentes grados de degradación (Figura 27).

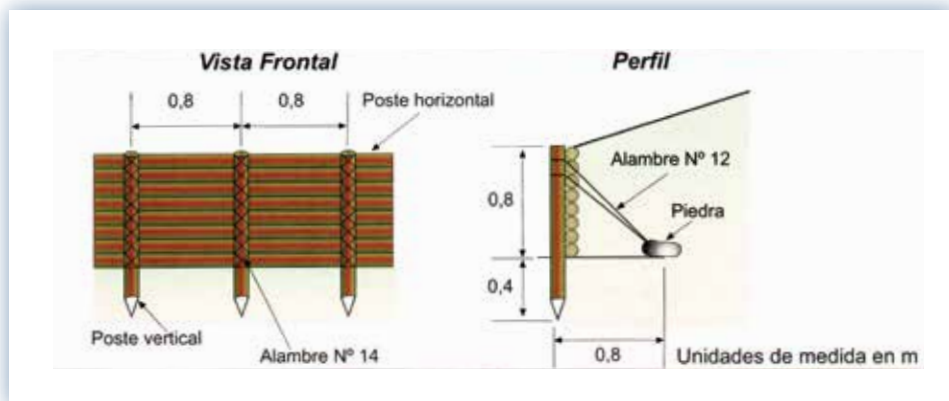


Figura 27. Esquema de construcción de muros con troncos o postes de madera, tomado de Francke et ál.(2004).

7. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos incluyen el uso de abonos verdes con plantas que permitan el enriquecimiento del suelo. De la misma forma, se pueden utilizar restos de materiales vegetales como ramas, hojas, tallos para cubrir o proteger el suelo. Con el mismo propósito, las técnicas de siembra en contorno, en función de las curvas de nivel, son técnicas que permiten evitar la erosión y mejorar la infiltración. Entre los tratamientos biológicos se pueden mencionar:

- Siembra de especies agrícolas en contorno.
- Siembra de especies forestales en contorno.
- Abonos verdes.
- Cubierta con material de residuos vegetales.

3.3 Restauración de manglares

Los manglares son ecosistemas característicos de las zonas costeras tropicales y subtropicales que, generalmente, ocupan la zona intermareal muy frecuentemente inundadas y con influencia de agua salada. Se alimentan con flujos de agua dulce provenientes de los ríos que los abastecen. Un ecosistema de manglar es un área donde el agua dulce entra en contacto con el agua de mar en un ambiente costero semiprotegido, por su particularidad, su estabilidad ecológica depende de factores terrestres y marinos.

La vegetación predominante en este ecosistema son árboles de mangle, especialmente adaptados a este ambiente de salinidad cambiante, con inundación de mareas y suelos

anegados en agua (Lewis 2014). Los árboles y arbustos característicos poseen adaptaciones morfológicas y características fisiológicas que les permiten subsistir bajo condiciones altas de salinidad y crecen sobre suelos, generalmente, anaeróbicos y potencialmente ácidos debido a la acumulación de pirita, resultado de la interacción entre la materia orgánica que proviene de las raíces y los iones sulfato, proveniente del agua de mar (Jiménez 1994).

Los suelos de manglar se caracterizan por un alto contenido de agua, sal y sulfuro de hidrógeno, con un bajo contenido de oxígeno y una elevada proporción de materia orgánica (Lewis 2005). Los manglares se desarrollan sobre todo en terrenos fangosos y aluviales que, por lo general, se forman por la sedimentación de partículas de suelo transportadas por el agua. Los ecosistemas de manglar, en general, son dominados por dos o tres especies de las 10 que se han reportado para América tropical (Infante-Mata 2014) y se clasifican como alta, media o baja marea que corresponde con la zonificación dentro del estuario y la distancia al mar (Duke 2006).

Son muchos los estudios que expresan la necesidad de dictar claros lineamientos sobre el manejo y conservación de manglares. Ya en 1995, se evaluó el estado de los manglares en América Latina y el Caribe, basada en la pérdida de hábitat, la calidad del agua, la integridad hidrológica, la tasa de conversión del hábitat, el grado de protección, el grado de fragmentación, y el grado de alteración de la cuenca. Se obtuvo que solo un 13% de las unidades de manglar tenían una estabilidad ambiental y 38% se encontraban en un estado crítico o en peligro de extinción (Dinerstein et ál. 1995). Otros estudios demuestran como los paisajes de manglares se han reducido entre un 30 y un 50% en el último medio siglo, consecuencia principalmente del desarrollo costero, la expansión de la acuicultura y la sobreexplotación de sus recursos, lo que los ha llevado a predecir que las zonas de manglares pueden desaparecer en tan solo 100 años (Alongi 2002, Duke et ál 2007, Polidoro et ál. 2010). Todo lo anterior, refleja que muchas de las zonas de manglar que perdieron parcial o totalmente su área de hábitat requieren de propuestas claras y concretas que permitan su restauración y la recuperación de sus paisajes.

3.3.1 Objetivos de la restauración de manglares

- Incorporar acciones de restauración de manglares con el fin de restablecer sus paisajes, mejorar su entorno acuático y favorecer su regeneración natural para lograr una mayor integridad ecológica en estos ecosistemas.
- Favorecer el restablecimiento de la morfología de redes de canales que permitan el buen flujo de las aguas en la zona de manglares.
- Promover acciones que permitan el adecuado control de diques y canales, así como barreras que impidan el flujo de agua en la zona de manglares.
- Restablecer el régimen hidrológico de los manglares afectados por sedimentación y obras de infraestructura como carreteras y barreras.

- Restablecer las condiciones normales de salinidad para favorecer y estabilizar la sobrevivencia y crecimiento de las especies de manglar.
- Estimular los medios de conservación de la diversidad biológica, sustentar la resiliencia y la capacidad de restauración de los ecosistemas de manglares.
- Aumentar y/o recuperar las zonas de manglares a través de acciones de restauración con el fin de contribuir al mantenimiento de la biodiversidad y favorecer la capacidad para el almacenamiento de carbono como un medio de mitigación del cambio climático.
- Crear estratificaciones en las áreas de rehabilitación con el propósito de constituir una representación de la distribución ecológica de las zonas de manglares.
- Fomentar e implementar los medios que permitan una adecuada conservación y uso del suelo de los afluentes con influencia directa sobre las zonas de manglares, con el fin de disminuir los problemas de sedimentación.
- Involucrar las instituciones y comunidades locales en las acciones de restauración de manglares.

3.3.2 Selección de los sitios por restaurar

Para que las acciones de restauración no se vuelvan un programa de siembra y realmente logren tener éxito en reconstruir la dinámica de los ecosistemas de manglares, se requiere información básica del sitio sobre factores biofísicos claves, los cuales varían significativamente en el corto período de tiempo que comprende el ciclo de mareas, y que ejercen una gran influencia sobre el establecimiento y distribución de la vegetación del manglar. La información que permite definir los sitios por restaurar son tres factores biofísicos importantes: la distancia de otras zonas naturales de mangle, el conocimiento de las mareas y sus ciclos de inundación y la hidrodinámica del flujo. Pero la efectividad de un programa de restauración no solo requiere el conocimiento de la naturaleza física del ecosistema de manglar, sino que se vuelve relevante reconocer las dimensiones humanas y su potencial para integrarse al proyecto de restauración.

De acuerdo con Lewis (2014), la Restauración Ecológica de Manglar (REM) se define como: *un enfoque para la rehabilitación o restauración de los humedales costeros que busca facilitar la regeneración natural para lograr ecosistemas de humedales autosostenibles*. Se ha reportado que los manglares en todo el mundo pueden autoregenerarse o tener una exitosa sucesión secundaria en períodos de tiempo que van desde los 15 hasta los 30 años.

Para que los sitios de manglares logren manifestar su resiliencia al cambio se necesita que: 1) la hidrología mareal normal no haya sido alterada y 2) si la disponibilidad de semillas o plántulas (propágulos) en el agua provenientes de manglares adyacentes sea abundante y no limitada o bloqueada por barreras o diques (Lewis 1982, Cintron-Molero 1992, Field 1998). De tal manera que cuando no se cumplan algunos aspectos básicos en el sitio, las posibilidades de recuperación serán muy limitadas. Es importante comprender que en los

ecosistemas de manglares existe una amplia gama de condiciones climáticas, hidrológicas y ecológicas, lo que trae consigo un amplio conjunto de tipos de comunidades de manglar y que su regeneración a través de la sucesión secundaria se verá limitada. Por lo tanto, las acciones de restauración serán un éxito cuando en los procesos de monitoreo se logre determinar que existe un aumento de las áreas cubiertas por manglares y que los ecosistemas restaurados presenten evidencias de mejoramiento en su integridad ecológica. La regeneración de la vegetación de manglar, ya sea mediante su ocurrencia espontánea o mediante restauración, es vital para que se manifieste la resiliencia de manglares y se garantice la continuidad de sus funciones ecológicas.

Como mecanismo para la selección de sitios se puede utilizar los estudios detallados de cambio de uso de suelo o pérdida de cobertura de manglares a través de los sistemas de información geográfica. El uso y sobreposición de imágenes históricas permite determinar los cambios en los ecosistemas de manglar. Esta herramienta en conjunto con una comprobación y rectificación de los datos con información de campo, ofrece una aproximación hacia dónde direccionar las prácticas de restauración.

Por otro lado, es pertinente considerar que los principales factores que han provocado la pérdida de manglares son:

- Incremento de su conversión en usos alternativos como es el caso de las granjas camaroneras,
- establecimiento de lagunas extractoras de sal (salinas),
- sobreexplotación del recurso forestal para extracción de madera y taninos,
- construcción de obras de drenaje, acompañado de la eliminación de la flora de manglar para establecer prácticas agrícolas o ganaderas,
- construcción de barreras que impiden el adecuado flujo intermareal, acompañado de la sedimentación que provoca la pérdida del ecosistema de manglar,
- establecimiento de infraestructura por asentamientos humanos.

La priorización se puede concentrar en restaurar aquellos sitios identificados con los problemas antes mencionados. Sitios de uso de camaroneras y salinas que se encuentran en procesos de cierre o que por su coyuntura económica no son rentables, sitios metas para implementar los proyectos.

Sitios de manglares con evidencias de degradación, con pérdida de sus recursos, por sobreexplotación forestal, podrán clasificar de la misma forma como sitios prioritarios. Además aquellos ecosistemas de manglar que por influencia de la sedimentación, construcción de sistemas de drenado y con barreras que impiden el ingreso de los flujos de mareas y que han visto mermado su capacidad de resistencia y resiliencia natural, requerirán la implementación de actuaciones dirigidas a restablecer sus condiciones naturales.

El proceso de selección de sitio, en general, se puede aplicar a más de una zona costera o cuenca de drenaje para obtener una lista de las zonas potenciales de restauración. De esta lista, las áreas que registran cambios sustanciales de los flujos hidrológicos y cambios en sus corrientes y que han influido en descensos significativos del área total de manglares, de acuerdo sus condiciones históricas, calificarán para implementar las actuaciones. Cada uno de estos sitios potenciales de restauración requiere una investigación sobre el terreno, con ayuda de mapas, para verificar el estado de la vegetación remanente y tratar de responder una pregunta clave: *¿Qué necesita este sitio, una adecuada gestión ambiental, aún más que la recuperación, o acelerar la recuperación, o es que existe potencial para que el sitio se recupere con el tiempo por sí mismo sin la intervención?* Saenger (2002) destaca la importancia de reconocer, cuál es la historia del sitio o área, o más específicamente, qué actividades anteriores han conducido a las actuales condiciones de degradación. Estos elementos son de relevancia para tomar en cuenta en la priorización de sitios por restaurar.

Por otra parte, Lewis y Marshal (1997) han sugerido cinco pasos críticos necesarios para tener éxito en la restauración de manglar y que pueden ayudar en la selección de los sitios:

1. Comprender la autoecología (ecología individual de las especies) de las especies de mangles del sitio, particularmente los patrones de reproducción, distribución de propágulos y establecimiento exitoso de las plántulas.
2. Comprender los patrones normales de la hidrología que controlan la distribución y el establecimiento y crecimiento exitoso de las especies meta.
3. Evaluar las modificaciones ocurridas en el entorno previo del manglar que impide, en la actualidad, la sucesión secundaria natural.
4. Diseñar el programa de restauración de modo que, inicialmente, pueda restituirse la hidrología apropiada y utilizar el reclutamiento natural y voluntario de los propágulos de mangle para el establecimiento de las plantas.
5. Usar únicamente la siembra de propágulos, de plántulas colectadas o cultivadas después de determinar, a través de los pasos del 1 al 4, que el reclutamiento natural no garantizará la cantidad de plántulas exitosamente establecidas, tasas de estabilización y de crecimiento de los árboles jóvenes establecidos como metas para el proyecto de restauración.

Una vez seleccionado el sitio por restaurar es conveniente estudiar las interacciones entre la tierra y el mar, y los patrones de las corrientes de agua entrantes y salientes del área (parte de la hidrología del área) como un todo, antes de evaluar las partes del sistema. Asimismo se debe comprender como las actividades humanas impactan el ecosistema, reconocer los límites del bosque en conjunto con los patrones de uso de la tierra que rodea

los ecosistemas de manglar para que el proyecto busque una integración social con acciones que estén asociadas a la necesidades de la sociedad, pero que a la vez se respete las políticas de conservación de manglares a nivel nacional y en el marco de la convenciones internacionales.

3.3.3 Técnicas de implementación

a) Rehabilitación y estabilización de los procesos hidrológicos

Los manglares generalmente prefieren aquellas zonas planas y con gradientes topográficos suaves, debido a que de manera natural el agua salada o dulce penetre en los suelos de manglar. El gradiente de inundación permite determinar la ubicación de cada uno de las especies y su distribución está asociada al nivel de las mareas.

La rehabilitación del régimen hídrico busca recrear un entorno natural que facilite el flujo de la marea normal y favorezca el restablecimiento natural y el crecimiento normal de las plántulas de mangle. Los canales de drenaje, los diques y las barreras, son elementos que impiden el flujo natural de las aguas marinas y de las fuentes de agua dulce. Por lo tanto, las actuaciones deben ir dirigidas a minimizar el efecto por este tipo de elementos. La nivelación de las paredes de los diques y la apertura de brechas estratégicas, puede ser suficiente para apoyar el intercambio de aguas de las mareas y, con el tiempo, puede inducir a una degradación paulatina de las paredes del dique. Cuando se alteran las corrientes de la marea y se impide el flujo normal de las aguas continentales que alimentan el manglar, provoca cambios en las condiciones de suelo, y en muchos casos, se favorece la sedimentación lo que conduce a que los manglares se sequen o puedan morir con el tiempo. La sobrevivencia de las especies por utilizar dependerá de factores como: elevación adecuada en relación con el nivel de las mareas para que no se ahoguen y los propágulos deben encontrar un lugar donde las olas y las corrientes no arranquen las plántulas.

De acuerdo con Lewis (2014), existen ocho factores clave en cuanto a los requerimientos ambientales que influyen en el reclutamiento, crecimiento y funcionamiento de las actuaciones y muy relacionados con la estabilidad hidrológica del sitio:

1. Cambios en la temperatura.
2. Línea costera protegida.
3. Movimiento de las corrientes.
4. Condiciones edáficas.
5. Patrones de sedimentación.
6. Condiciones de salinidad.
7. Inundación mareal y frecuencia y presencia.
8. Funcionamiento de los canales de mareas.

En general, los manglares se establecen en una plataforma terrestre elevada sobre el nivel del mar y presenta una pendiente moderada que le permite cierto grado de inclinación, además, presenta flujos intermareales con tiempo de inundación de aproximadamente 30% (Lewis 2005), por tal motivo, la reconstrucción de la hidrología del sitio por restaurar es un elemento clave a la hora de realizar un proyecto de restauración, inclusive la rehabilitación y estabilización hidrológica puede ser una actuación en sí misma, ya que permitirá activar los procesos naturales de regeneración a través de la sucesión secundaria. Kjerfve (1990) sugiere seis datos clave para evaluar y tomar decisiones en cuanto a las necesidades de restauración del ecosistema:

1. El tamaño y el alcance de la cuenca de drenaje.
2. Extensión y área de manglares en la fisiografía del sitio.
3. Topografía y batimetría de las zonas de manglares.
4. Características hipsométricas para calcular la corriente prisma de marea del manglar.
5. Las tasas de entrada terrestre de agua, sedimentos y nutrientes.
6. Balance hídrico climático.

Kjerfve (1990) plantea la importancia de la topografía y argumenta que la microtopografía determina la distribución del manglar, y en conjunto con los procesos físicos juegan un papel determinante en la formación y mantenimiento funcional de los ecosistemas de manglar. Es decir, que las actividades de desarrollo, tales como el dragado y relleno, canalizado de flujos, aportes por sedimentación, construcción de carreteras, y las restricciones de marea, provocan grandes cambios que pueden llevar al deterioro del ecosistema de manglar. Teniendo en cuenta que los manglares pueden recuperarse sin esfuerzos activos de restauración, se recomienda que al planificar las actividades se tenga en cuenta, primeramente, la existencia potencial de estrés, que bien pudiera estar dado por la obstrucción de la inundación por mareas, lo que puede impedir la sucesión secundaria, de modo que se debe eliminar el factor de estrés antes de intentar la restauración.

Una teoría básica detrás de la rehabilitación y la estabilización hidrológica, es recrear un entorno natural y la altura sustrato que apoyará el flujo de la marea normal, y el restablecimiento natural y el crecimiento de las plántulas de mangle.

Los métodos más comunes de rehabilitación y estabilización hidrológica de acuerdo con Lewis (2014) comprenden:

1. Ruptura estratégica (brechas) de muros y diques

Es común en áreas de mangle y otros tipos de humedales la construcción de diques y canales para su transformación. Los diques bloquean evidentemente el flujo normal de agua a través de los canales de marea. Un método común y de bajo costo para restaurar la hidrología del manglar consiste en la ruptura planificada de las paredes de los diques. Una brecha en el dique consiste en hacer un hueco en la pared de un ancho similar al canal

de marea (tome como referencia el ancho del canal de marea del bosque de referencia), a través del cual se produzca el flujo y reflujo de las aguas de marea.

2. Creación de canales artificiales de desagüe

La creación de los canales de marea pueden estar o no asociados con proyectos de relleno, se pueden cavar canales de marea con equipos pesados. La dimensión de los canales se dará con base en las mediciones del sistema de canales de referencia. En un proyecto a gran escala, puede ser necesario calcular la dimensión del prisma de marea para dar las dimensiones adecuadas a los canales de marea del área a rehabilitar. En algunos casos se pueden cavar canales manualmente para facilitar el drenaje y la inundación de los estanques a rehabilitar.

3. Excavaciones de canales de marea de tamaño apropiado

Las áreas de mangle pueden estar degradadas o destruidas por descargas excesivas de sedimentos, bien sea por causas naturales o antrópicas. Con la sedimentación, el manglar no se inunda ni se drena y queda fuera del rango de marea, pues el sustrato se ha elevado total o parcialmente. Tener en cuenta las causas de la sedimentación es esencial antes de emprender un proyecto de excavación, además, es necesario implementar acciones correctivas a través de proyectos de restauración y prácticas de conservación de suelos en las cuencas hidrográficas que abastecen el manglar. Las excavaciones y el dragado no tendrán éxito si se mantienen los mismos niveles de aporte de sedimentos.

4. Relleno de canales artificiales de desagüe

Algunos lugares con alta energía costera, dado al oleaje o las corrientes, puede ser difícil, costoso o imposible aumentar la elevación del sustrato. Si un área no experimenta una erosión significativa, pero acusa bajas elevaciones del sustrato, se deberá aumentar su elevación bien sea de manera natural (trabajando con la sedimentación natural) o de manera artificial con material de relleno. A partir de sus conocimientos de las tasas de sedimentación adquiridos durante la fase de evaluación, necesita predecir si la sedimentación natural será adecuada para rellenar el sitio en un tiempo lo suficientemente breve o si necesitará colocar material de relleno.

5. Acumulación de tierra para crear parches elevados (acreción natural o artificial)

Se utiliza para fomentar el reclutamiento de mangles en áreas donde las elevaciones del sustrato están por debajo del nivel medio del mar, o el sustrato está compuesto por fango líquido. Estos montículos se construyen con el material de relleno de las brechas de los diques o de la excavación de canales de marea. En aquellos sitios con elevada sedimentación que relativamente en poco tiempo llegan a tener los niveles topográficos óptimos (acreción natural), se da un restablecimiento de las especies de mangles en forma natural. Otra estrategia que se utiliza con relativa frecuencia para acreciones artificiales consiste en la construcción de plataformas o isletas, utilizando el material de relleno proveniente de dragados u otras fuentes de material orgánico como: carbón vegetal de baja calidad (no

comercializable), algas de playa, o material de raíces viejas de mangles pueden favorecer la reconstrucción del sustrato.

Otro método de acreción artificial diseñado para algunas especies de mangle, desarrollado por Riley y Salgado-Kent (1999) (Figura 28), consiste en el uso de tubos de plástico PVC de 1,5 pulgadas de diámetro, con una ranura a todo lo largo. Estos tubos se rellenan con sedimento hasta la altura correspondiente al suelo del manglar, donde se siembra la planta, así se protege a la plántula de la abrasión por corrientes, oleaje y detritus. Requiere menor cantidad de sedimento que las plataformas; protege a la plántula de los rayos ultravioletas y de la herbivoría de macroinvertebrados y vertebrados, y a la vez, estimula el crecimiento vertical. Una vez que la planta se ha establecido con un sistema de raíces que soporta la influencia de las mareas, se procede a retirar el tubo.

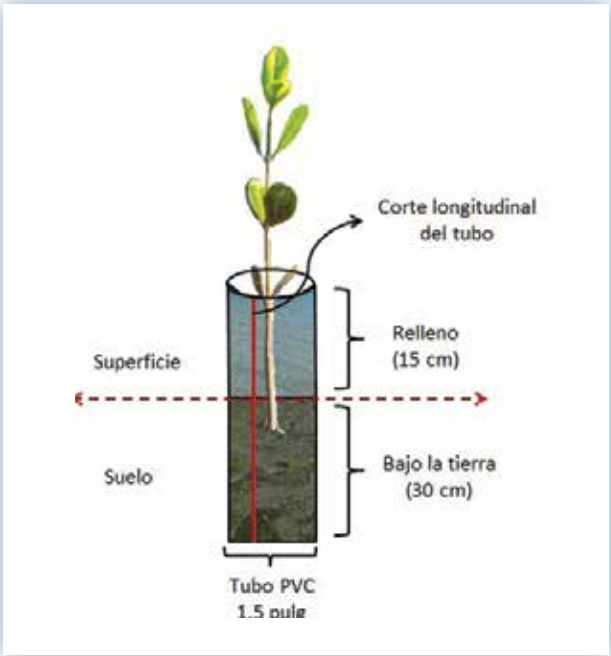


Figura 28. Sistema de encajamiento para la siembra de plántulas de mangle, como un refuerzo de acreción artificial. Riley y Salgado-Kent (1999).

6. Reacondicionamiento de los suelos existentes para refugio de peces

Los manglares no forman bosques densos y homogéneos, hay una variedad de ecotonos en cualquier sistema de mangles. Las áreas de aguas abiertas más profundas (submareal) funcionan como un importante refugio de peces, durante la marea baja. Los refugios de aguas someras y las marismas intermareales son también hábitats importantes para peces y crustáceos, así como para aves migratorias. Por lo tanto, la creación de sitios de lagunas intermareales permitirá que el agua retorne lentamente hacia el río

o hacia el mar, después de depositar limo fino (cieno) en la superficie encerrada y crear condiciones para la fauna acuática.

7. Creación de la cuenca posterior

Con esta técnica, una depresión de grandes dimensiones se excava en la parte posterior del área de rehabilitación. Esta depresión es para retener el agua de las mareas, antes de que regrese al mar por los canales de marea. Con ello aumenta el prisma de marea, y se fortalece la limpieza de los canales de marea, manteniendo su funcionamiento. Aunque la construcción de esta cuenca puede ocasionar el estancamiento de agua, en la parte posterior del sitio de rehabilitación, garantiza un canal de marea funcional sin sedimentos, esta es la prioridad.

8. Colocación de dispositivos rompeolas

Estas estructuras se construyen para amortiguar los efectos de las corrientes y las olas, de modo que pueda ocurrir el reclutamiento y el crecimiento de la vegetación, como los mangles, hierbas halófitas, u otras especies de marismas. La construcción de rompeolas debe mantenerse como una técnica con exclusiva necesidad, ya que su costo, así como las consecuencias negativas, debido al socavamiento interno en el flujo de sedimentos de otros sitios adyacentes, pueden causar efectos adversos en el ecosistema.

b) Recuperación y estabilización de los niveles de salinidad

Las especies de mangles se consideran halófitas facultativas por su capacidad fisiológica de adaptarse a condiciones de suelo con agua salada, pobres en oxígeno y con influencia del agua de mar debido a las inundaciones intermareales. Tienen la capacidad de eliminar el exceso de sal a través de las hojas, a través de glándulas especializadas en sus hojas y poseen adaptaciones en sus raíces, cuya función es proporcionar aire a las raíces propias de lugares pantanosos cálidos, denominados neumatóforos (Sánchez et ál. 2000). Los mangles presentan la habilidad de crecer y desarrollarse en zonas con una variabilidad en la concentración de su salinidad, debido a la eficiencia que presentan para la incorporación de potasio en sustratos con alta concentración de sodio (Medina et ál.1995).

A pesar de que las especies de manglar se adaptan a ciertas condiciones de salinidad, la construcción de barreras y diques, restringe los flujos de las mareas, o también el control de ingreso de agua dulce, puede provocar un aumento en la salinidad que afecta el crecimiento normal de las especies de mangles. La aridez y salinidad elevada puede resultar de inundaciones de marea poco frecuente, de la falta de aporte de agua dulce y de las altas tasas de evaporación. Este aumento de la salinidad hace difícil la absorción en las plantas, lo cual puede tener un efecto directo sobre su metabolismo (Colin 2013).

La salinidad es un factor importante en la reducción de la competencia entre las especies de mangle y otras plantas vasculares del ecosistema circundante. Sin embargo, las especies de mangle también necesitan agua dulce para su germinación, crecimiento y supervivencia. Debido a que los manglares son halófitas facultativas, podría parecer extraño que estas especies

requieran de agua dulce, pero algunas especies de manglares incluso crecen bien en condiciones ligeramente salobres. Por otro lado, las condiciones hipersalinas pueden poner en riesgo la sobrevivencia de todas las especies de manglares, ya que crea el mismo problema de las plantas terrestres cuando se enfrentan a condiciones de sequía (Field 1998, Waycott et ál. 2011). La salinidad varía estacionalmente, como respuesta a las variaciones en la inundación de las mareas y las precipitaciones. Aunque algunas especies pueden sobrevivir en condiciones de alta salinidad, su crecimiento o sobrevivencia no es el óptimo. Por lo tanto, controlar el nivel de salinidad será un aspecto importante en la implementación de las actuaciones de restauración.

Para la recuperación y estabilización de las condiciones de salinidad en los manglares se requiere restablecer los flujos normales de las mareas y el ingreso de agua dulce de las cuencas que abastecen las zonas de manglar. Por lo tanto, las acciones de rehabilitación estarán asociadas a la rehabilitación y estabilización de los flujos hidrológicos mencionados en el punto a) del acápite 3.3.3. A continuación se mencionan las acciones que están relacionados con el mejoramiento de las condiciones de salinidad.

- Ruptura estratégica (brechas) de muros y diques.
- Creación de canales artificiales de desagüe.
- Excavaciones de canales de marea de tamaño apropiado.
- Relleno de canales artificiales de desagüe.
- Creación de la cuenca posterior.

En muchos casos de restauración de manglares, será necesario restablecer los flujos hidrológicos para estabilizar las condiciones de salinidad, en el caso de sitios de anteriores camaroneras y salinas, el ingreso y restablecimiento del flujo de mareas y el ingreso de los canales de agua dulce, será esencial para restablecer las condiciones normales de salinidad. Posterior a la rehabilitación de las condiciones a nivel de suelo y flujos hidrológicos, se podrá evaluar la capacidad de regeneración natural por el ingreso de propágulos y con esto favorecer la sucesión natural del manglar. En aquellos casos donde se requiera acelerar los procesos de recuperación o, ya sea, que existe escasas de regeneración natural en el sitio, se pueden implementar actuaciones de restauración ecológica o rehabilitación de manglares como se mencionan en las siguientes actuaciones de restauración.

c) Rehabilitación de manglares

La rehabilitación busca, en primera instancia, restablecer la productividad y los servicios que provee el ecosistema de manglar a través de la aplicación de técnicas de siembra, que permiten integrarse con los procesos naturales de regeneración. Debe tomarse en cuenta que antes de iniciar con las acciones de rehabilitación, se requiere haber implementado la recuperación y estabilización de la hidrología y salinidad del área de manglar. La rehabilitación busca mejorar los procesos de reconstrucción del ecosistema y se puede aplicar en aquellas áreas que existen suficientes fragmentos de manglares, a sus alrededores, y que

pueden contribuir con el aporte de propágulos por dispersión natural con los movimientos de las mareas. Para este caso, se recomienda usar aquellas especies de manglar que tienen menos restricciones en cuanto al sitio de siembra, como las del género *Avicennia*, *Rhizophora* y *Laguncularia*, las especies de estos géneros se caracterizan por ser colonizadoras de aquellos sitios que presentan una elevación del sustrato adecuado y un buen comportamiento natural de las mareas (Lewis 2014).

1. Selección de especies y medios de reproducción

Entre los aspectos relevantes a tomar en cuenta en algunas especies de mangles es la viviparidad, la germinación de las semillas ocurre en la planta madre. La viviparidad de los frutos de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* constituyen adaptaciones a las condiciones extremas de salinidad e inundación donde se desarrollan estas especies (Pannier 1975).

Para la siembra se pueden coleccionar propágulos en las zonas de manglares adyacentes al sitio de rehabilitación, o ya sea que se produzcan en vivero para su posterior trasplante.

2. Establecimiento en campo

El diseño de siembra debe contemplar la distribución de las especies a lo largo del gradiente del flujo intermareal como se detalla a continuación:

- *Rhizophora mangle* en la primera franja, borde de los canales y en los sitios con inundación permanente y valores de salinidad cercanos a los del mar (zona baja).
- *Avicennia germinans* en las áreas que no estén en la primera línea de costa, con influencia de la marea e inundaciones temporales y los mayores valores de salinidad (zona media).
- *Laguncularia racemosa* en sitios de mayor altura y con poco nivel de inundación y bajos valores de salinidad (zona alta).

Se recomienda utilizar un distanciamiento de siembra de 4 x 4 metros entre plantas que puede ser en distribución cuadrada o sistema tresbolillo (pata de gallina). Este distanciamiento lo que busca es dejar espacios entre plántulas para que se establezcan otras plantas en el sitio de forma natural y así restaurar sus condiciones naturales.

Cuadro 15. Cantidad de individuos por sembrar, por hectárea, de cada especie de mangle en relación con su diagrama de siembra en las diferentes zonas de manglares

Especie de mangle	Individuos por hectárea*
<i>Rhizophora mangle</i>	240
<i>Avicennia germinans</i>	240
<i>Laguncularia racemosa</i>	240
Total	720

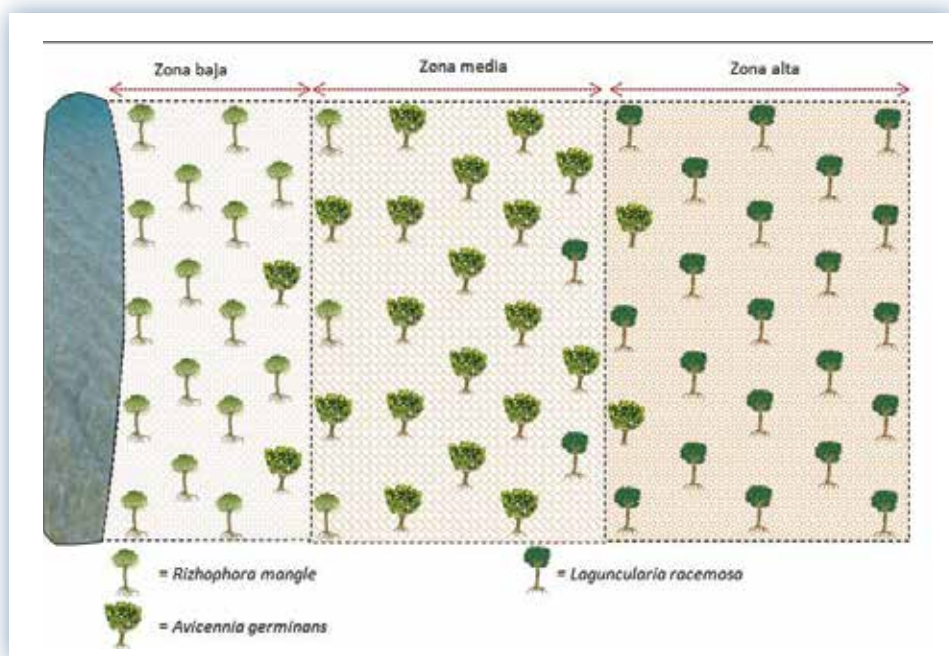


Figura 29. Diagrama de siembra para las diferentes zonas en función de la influencia de las mareas en ecosistemas de manglar.

* Siembra en sistema tresbolillo, la densidad de siembra es igual a: $(d \times d) \times \text{seno } 60^\circ$.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

d) Restauración ecológica de manglares

Los ecosistemas de manglar tienen una alta resiliencia y resistencia después de los disturbios y pueden recuperarse de una forma natural sin incluir esfuerzos de restauración activa (Lewis 2005, 2014). Pero aquellos sitios que han pasado por una serie de disturbios naturales o antropogénicos, por un período prolongado, los medios de recuperación natural se ven muy limitados. La restauración ecológica tratará de similar, en lo posible, el ecosistema anterior al momento del disturbio, para lograrlo se puede tomar un ecosistema referencia lo más cercano al sitio del proyecto. De este lugar se pueden tomar las especies arbóreas principalmente mangles para su posterior selección y siembra. De acuerdo con Lewis (2014), se recomienda seguir los siguientes pasos para la posterior siembra de las actuaciones de restauración ecológica:

1. Explorar y reconocer la existencia de aquellas barreras que han impedido la sucesión secundaria, se requiere eliminar estas barreras para que las acciones tengan mayor probabilidad de éxito. Además se favorece la llegada de diferentes propágulos que pueden reforzar las acciones de siembra.
2. Eliminar las barreras identificadas, (rehabilitación y estabilización hidrológica y las con-

diciones de salinidad serán necesarias).

3. Evaluar el reclutamiento natural de plántulas y tomar acciones en aquellos casos donde es nula o baja.
4. Estudiar la autoecología de las especies de mangle en el sitio, es decir, sus patrones de reproducción, distribución de propágulos y el éxito de establecimiento de plántulas (esto influirá en la escogencia de especies).

1. Selección de especies en las propuestas de restauración ecológica de humedales

Aquellas especies representativas de los ecosistemas referencia o zonas aledañas a los sitios por restaurar serán las especies más idóneas para el establecimiento de la plantas. Se recomienda reconocer las diferentes zonas de influencia por las mareas (zona baja, media y alta) y seleccionar las especies de acuerdo con su ocurrencia. Lo que se buscará es combinar la restauración con la mayor cantidad de especies de mangle posible e incluir las especies arbustivas representativas de la zona de transición. De igual manera, es recomendable incorporar la cobertura arbórea en las acciones de restauración con el fin de crear una zona de amortiguamiento que permita proteger la zona de manglar de todos aquellos disturbios antropogénicos.

2. Establecimiento en campo

Para la siembra en campo se recomienda utilizar un sistema de cuadrado o tresbolillo (pata de gallina), además, se deberán intercalar las especies en el cambio entre zonas para fomentar y favorecer una integración natural entre las especies.

Cuadro 16. Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada especie de mangle en relación con su diagrama de siembra en las diferentes zonas de manglares

Gremio ecológico	Distanciamiento (m)	Cantidad de plantas por hectárea	
		Cuadrado	Tresbolillo*
Especies arbustivas (2 a 4 especies)	2 x 2	2 500	2 887
<i>Rhizophora mangle</i>	2,5 x 2,5	1 600	1 848
<i>Avicennia germinans</i>	3 x 3	1 111	1 283
<i>Laguncularia racemosa</i>	3,5 x 3,5	816	943
<i>Conocarpus erectus</i>	4 x 4	625	722
Especies arbóreas (2 a 4 especies)	3 x 3	1 111	1 283

* Siembra en sistema tresbolillo, la densidad de siembra es igual a: $(d \times d) \times \text{seno } 60^\circ$.

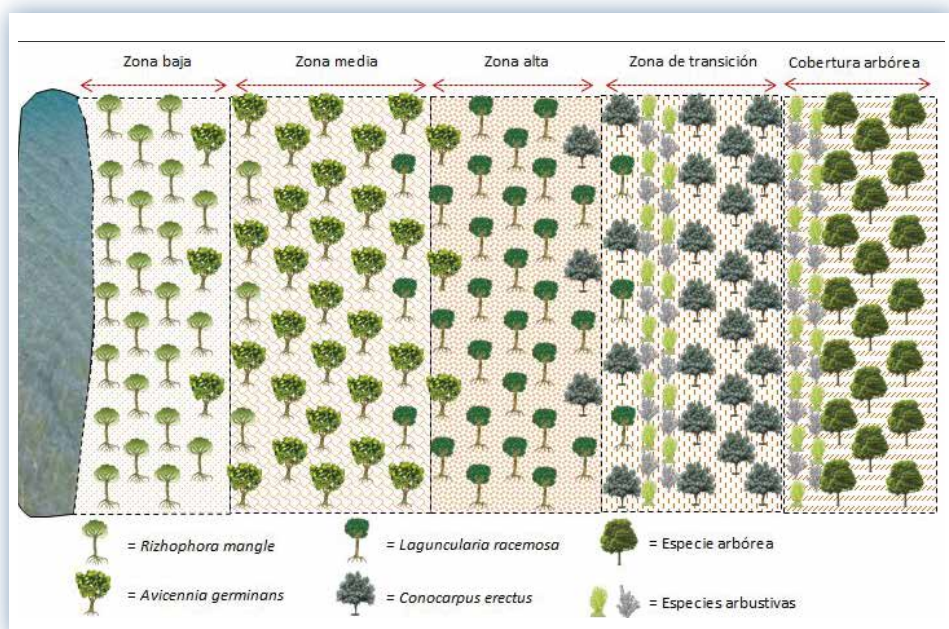


Figura 30. Diagrama de siembra para las diferentes zonas en función de la influencia de las mareas en los ecosistemas de manglar y en la zona de transición con el área de cobertura arbórea.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

Bibliografía

- Alongi, D. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29:331-349.
- Arroyave, M.; Uribe, D. y Posada, M. 2011. Restauración ecológica de la zona de ribera del río la miel (Departamento de Caldas, Colombia). *La Restauración Ecológica en la práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica. II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica*. Editores: Vargas, O.; Reyes, P. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. 636 p.
- Baker, M.E. y Weller, D.E. 2006. Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers. *Landscape ecology* 21:1327-1345.
- Ceccon, E. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias* 72:46-53.
- Cintrón-Molero, G. 1992. Restoring mangrove systems. In: Thayer, G.W. (ed.), *Restoring the Nation's Marine Environment*. Maryland Seagrass Program, College Park, Maryland, pp. 223-277.
- Colin; F. 2013. Local management and rehabilitation of mangroves: present and future. In: 'Workbook for managing urban wetlands in Australia'. Editor: Paul, S. 1st edn. (Sydney Olympic Park Authority), eBook available through www.sopa.nsw.gov.au/education/WETeBook/
- Convención de Ramsar sobre los humedales. 1971. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. UNESCO. Ramsar, Irán. <http://www.ramsar.org/indexsp.htm>, http://www.ramsar.org/key_conv_e.htm
- Dinerstein, E.; Olson, D. M.; Graham, D. J.; Webster, A. L.; Primm, S. A.; Bookbinder, M. P., and Ledec, G. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. World Wildlife Fund and World Bank. Washington, DC. 129 p.

- Dramstad, W.; James, O. y Forman, R. 1996. *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-use Planning*, Harvard University Graduate School of Design-Island Press-American Society of Landscape Architects, Washington.
- Dugan, P.J. 1992. Conservación de Humedales. Un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN). Gland, Suiza. 100 p.
- Duke, N. 2006. Australia's mangroves. The authoritative guide to Australian's mangrove plants. University of Queensland, Brisbane. 200 p.
- Duke, N.; Meynecke, J.; Dittmann, S.; Ellison, A.; Anger, K.; Berger, U.; Cannicci, S.; Diele, K.; Ewel, K.; Field, C.; Koedam, N.; Lee, S.; Marchand, C.; Nordhaus, I. and Dahdouh-Guebas, F. 2007. A world without mangroves? *Science* 317, 41-42.
- Fernández, I. y Fernández, M. 2011. Propuesta metodológica para la evaluación funcional de sitios degradados con potencial de ser restaurados. *Rev. Cons. Amb.* 1; 30-33.
- Fernández, L.; Rau, J. y Arriagada, A. 2009. Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín (41° 28' S; 72° 59' O) utilizando el índice QBR. *Gayana Botánica* 66(2): 269-278.
- Field, C.D. 1998. Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin* 37:383-392.
- Francke, S.; Vargas, R.; Torugawa, K. y Makita, M. 2004. *Manual de Control de Erosión*. Agencia de Cooperación del Japón (JICA), Gobierno de Chile. Corporación Nacional Forestal. Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos y Aguas. 73 p.
- Gómez-Pompa, A. and Kaus, A. 1992. Taming the Wilderness Myth. *Bioscience* 42: 271-279.
- González del Tánago, M. 1998. Las riberas, elementos clave del paisaje y en la gestión del agua en Actas de Congreso "Hacia una nueva cultura del agua". El agua a debate desde la Universidad, Zaragoza.
- Hobbs, R.J. & D.A. Norton. 1996. Towards a Conceptual Framework for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 4(2):93-110.
- Infante-Mata, D.; Moreno-Casasola, P. y Madero-Vega, C. 2014. *Pachira aquatica*, un indicador del límite del manglar, *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:143-160.
- Interagency Workgroup on Wetland Restoration (IWWR). 2003. National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency, Army Corps of Engineers, Fish and Wildlife Service, and Natural Resources Conservation Service. An

Introduction and User's Guide to Wetland Restoration, Creation, and Enhancement. NOAA/EPA/NRCS/ACE/FWS. 95 p.

- Jacobsen, D. 1998. The Effect of Organic Pollution on the Macroinvertebrate Fauna of Ecuadorian Highland Streams. *Arch. Hydrobiol.*, 143(2):179-195.
- Jiménez, J. 1994. Los Manglares del Pacífico Centroamericano. Universidad Nacional & Instituto Nacional de Biodiversidad, Heredia, Costa Rica. 336 p.
- Junk, W.J. 2002. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. *Environmental Conservation* 29(4):414-435.
- Kjerfve, B., 1990. Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems. UNESCO/UNDP Regional Project, Research and its Application to the Management of the Mangroves of Asia and the Pacific (RAS/86/120). 79 p.
- Levine, J.M. 2000. Species Diversity and Biological Invasions: Relating Local Process to Community Pattern. *Science*, 288:761-763.
- Levine, J.M.; D'Antonio, C. M. 1999. Elton Revisited: A Review of Evidence Linking Diversity and Invasibility. *Oikos*, 87:15-26.
- Lewis, R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecol. Eng.*, 24:403-418.
- . 1982. Mangrove forests. In: Lewis, R.R. (Ed.), *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 153-172 pp.
- Lewis, R. y Brown, B. 2014. Rehabilitación Ecológica del Manglar. Manual de campo para Rehabilitadores. Mangrove Action Project Indonesia, Blue Forests, Canadian International Development Agency, and OXFAM. 275 p.
- Lewis, R. y Marshall, M. 1997. Principles of successful restoration of shrimp Aquaculture ponds back to mangrove forests. Programa/resumes de Marcuba '97, September 15/20, Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, 126 p.
- Lowrance, R. 2001. The potential role of riparian forests as buffers zones. In: Hayckoc, N., Burt; T., Goulding; K., Pinay, G.; ed. *Buffer zones: their processes and potential in water protection. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones*. September 1996.
- Maltby, E. 1991. Wetland management goals: wise use and conservation. *Landscape and Urban Planning* 20:9-18.

- Manual de la Convención de Ramsar. 2006: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar. 124 p.
- MEA (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Well-Being. Synthesis. Island Press, Washington D.C.
- Medina, E. ; Lugo, A. y Novelo, A. 1995. Contenido mineral del tejido foliar de especies de manglar de la laguna de Sontecomapan (Veracruz, México) y su relación con la salinidad. *Biotrópica*. 27 (3): 317-323.
- Montes, C.; Rendón-Martos, M.; Varela L. y Cappa M.J. 2007. Manual de restauración de humedales mediterráneos. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Munné, A. ; Prat, N. ; Sola, C. ; Bonada, N. and Rieradevall, M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams. QBR index. *Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 13:147-164.
- Munné, A. ; Sola, C. y Prat, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- Olguín, E.; Hernández, M. y Sánchez-Galván, G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3):139-154.
- Palmer, M.A., Ambrose R. F. and LeRoy Poff. N. 1997. Ecological theory and community restoration ecology. *Restoration Ecology* 5:291-300.
- Pannier, F. 1975. Physiological problems in the tropics. 398 p. In: Golley, F.B. and Medina, E. (ed.), *Tropical Ecological Systems*. Springer Verlag, Berlin.
- Polidoro, B.; Carpenter, K.; Collins, L.; Duke, N.; Ellison, A.; Farnsworth, J.; Fernando, E. Kandasamy, K.; Koedam, N.; Livingstone, S.; Miyagi, T.; Moore, G.; Nam, V.; Eong, J.; Primavera, J.; Severino, G.; Sanciango, J.; Sukardjo, S.; Wang, J. and Hong Yong, J. 2010. The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. *PLoS ONE* 5(4):e10095.
- Portnoy, J. W. 1999. Salt marsh diking and restoration: biogeochemical implications of altered wetland hydrology. *Environmental Management* 24:111-120.
- Pringle, C.; Scatena, F.; Paabyhansen, P. and Nuñez, M. 2000. River conservation in Latin America and the Caribbean. In: *Global Perspectives on River Conservation. Science, Policy and Practice*. P. J. Boon, B.R Davies and G.E. Petts (eds.): 41-77 John Wiley and Sons Ltd.

- Rejmánek, M. y Richardson, D. M. 1996. What Attributes Make Some Plant Species more Invasive? *Ecology*, 77 (6):1655-1661.
- Riley, R. y Salgado-Kent, C. 1999. Riley encased methodology: Principies and proceses of mangrove habitat creation and restoration, *Mangrove and Saltmarshes* 3(4): 207-213.
- Robins, J.D.; Cain J. R. 2002. The past and present condition of the Marsh Creek watershed. Berkeley, CA: Natural Heritage Institute. 71 p.
- Rondón, R. and Vidal, R. 2005. Establecimiento de la Cubierta Vegetal en Áreas Degradadas. (Principios y Métodos). *Revista Forestal Latinoamericana* N.º 38/2005. 63-82.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Saenger, P. 2002. Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 359 p.
- Sánchez, H., Álvarez, R.; Guevara, Ó. y Delgado, G. 2000. Lineamientos estratégicos para la conservación y uso sostenible de los manglares de Colombia. Propuesta técnica para análisis. Bogotá. 84 p.
- Sánchez, O.; Herzig, M. Peters; E. Márquez, R. y Zambrano, L. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). U.S. Fish & Wildlife Service. Unidos para la Conservación, A. C. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. 293 p.
- Schmidt-Mumm, U. 1998. Vegetación Acuática y Palustre de la Sabana de Bogotá y Plano del Río Ubaté. Tesis de Maestría, Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.
- Van der Hammen, T. ; Stiles, F.G. ; Rosselli, L. ; Chisacá, M.L. ; Camargo, G.P. ; Guillot, G. ; Useche, y Rivera, D. 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá, D.C. 296 p.
- Vilá, M., Valladares, F.; Traveset, A.; Santamaría, L. y Castro, P. 2008. Invasiones Biológicas (Coordinadores). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. España. 215 p.
- Vilardy, S.; Jaramillo, Ú.; Flórez, C.; Cortés-Duque, J.; Estupiñán, L.; Rodríguez, J. Acevedo, Ó; Samacá, W.; Santos, A.C. ; Peláez, S. y Aponte, C. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la

resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 100 p.

Waycott, M.; McKenzie, L.; Mellors, J.; Ellison, J.; Sheaves, M.; Collier, C. Schwarz, A.; Webb, A.; Johnson, J. and Payri, C. 2011. Vulnerability of mangroves, seagrasses, and intertidal flats in the tropical Pacific to climate change. Pages 297-367 in Bell, J. D., J. E. Johnson, and A.J. Hobday, editors. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia.

WCMC (World Conservation Monitoring Centre). 1998. Freshwater Biodiversity: A preliminary global assessment. By Brian Groombridge and Martin Jenkins. WCMC - World Conservation Press, Cambridge, UK. vii + 104 p.

2 Restauración en terrenos de vocación agrícola

Autor | **Ricardo O. Russo**

Contenido

1. Sistemas agroforestales en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas	175
1.1 Antecedentes	175
1.2 Objetivos.....	176
1.3 Justificación.....	176
1.4 Desarrollo histórico	177
1.5 Las interacciones entre componentes en los sistemas agroforestales.....	180
1.6 Efecto del dosel en los sistemas agroforestales.....	181
1.7 Potencialidad de los sistemas agroforestales.....	182
1.8 Los servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales.....	183
1.9 Los SAF en el mundo globalizado de la agricultura.....	184
1.10 Clasificación y caracterización de los sistemas agroforestales	186
1.10.1 Sistemas agroforestales secuenciales	187
1.10.2 Sistemas agroforestales simultáneos.....	191
1.10.3 Sistemas lineales o en alineación.....	205
1.11 Atributos y características deseables de los sistemas agroforestales	213
1.12 Importancia de las buenas prácticas agrícolas en los sistemas agroforestales.....	214
1.13 Potencial mitigador de distintas BPA	217
1.14 Sugerencias o posibles acciones relacionadas con las BPA y la reducción de emisiones	218
1.15 Almacenamiento de carbono en la biomasa en sistemas agroforestales.....	218
1.16 Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS) en sistemas agroforestales	219
1.17 Restauración de áreas degradadas con sistemas agroforestales	221
1.18 Ventajas comparativas de los SAF	222
1.19 Sostenibilidad de los SAF	224
1.20 Consideraciones generales sobre sistemas agroforestales.....	225

Bibliografía	229
Anexos	239
2. Sistemas silvopastoriles en Mesoamérica y restauración de áreas degradadas ..	251
2.1 Antecedentes	251
2.2 Objetivos.....	253
2.3 Justificación.....	254
2.4 Definiciones y conceptos	254
2.5 El componente arbóreo en los SSP	257
2.6 Efectos de los árboles en los sistemas silvopastoriles	258
2.6.1 Actuaciones propuestas sobre el componente arbóreo	259
2.7 Clasificación y caracterización de los sistemas silvopastoriles (SSP)	260
2.7.1 Caracterización de los SSP con enfoque forestal	261
2.7.2 Caracterización de los SSP con enfoque ganadero.....	262
2.8 Aspectos de fertilidad del suelo en los SSP.....	274
2.9 Oportunidades de los sistemas silvopastoriles	275
2.10 Restauración de áreas degradadas	276
2.11 Conservación de la biodiversidad	277
2.12 Actuaciones propuestas sobre restauración de áreas degradadas	277
2.13 La regeneración natural y su efecto sobre la arborización de áreas de pastoreo...	281
2.14 Factores de manejo de la pastura.....	284
2.15 Aspectos importantes sobre las pasturas.....	284
2.15.1 Aspectos importantes sobre el manejo del ganado	285
2.16 Degradación de las pasturas tropicales	287
2.16.1 Ganadería extensiva con pastoreo continuo.....	287
2.16.2 Acidez del suelo	288
2.16.3 Compactación del suelo.....	288
2.16.4 Señales de degradación de las pasturas tropicales.....	289
2.16.5 Efectos de la renovación de pasturas degradadas	289

2.16.6 Erosión	289
2.16.7 Quema	289
2.16.8 Agotamiento del fósforo y del nitrógeno en el suelo.....	290
2.17 Los sistemas silvopastoriles y la conservación de la biodiversidad	290
2.18 Los sistemas silvopastoriles y la captura de carbono	291
2.19 Principales limitantes y opciones para estimular la adopción de sistemas silvopastoriles comerciales en Centroamérica	293
2.19.1 Estímulos para su adopción masiva	295
Bibliografía	296
Anexos	309

Índice de cuadros y figuras

Cuadros

1. Sistemas agroforestales en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas

1.	Efectos del componente leñoso (árboles, arbustos, palmas y bambúes) de un sistema agroforestal sobre el suelo y los cultivos	181
2.	Bienes y servicios ambientales o ecosistémicos de los sistemas agroforestales	183
3.	Ejemplos de sistemas agroforestales tradicionales	187
4.	Comparación entre cercas vivas y cercas con postes muertos de madera	207
5.	Ventajas y desventajas de las cortinas rompevientos, según las opiniones de 33 productores en León, Nicaragua.....	212
6.	Atributos y características deseables de los sistemas agroforestales	214
7.	Medidas propuestas para mitigar las emisiones de GEI de los ecosistemas agrícolas, sus efectos aparentes sobre la reducción de las emisiones de gases individuales (efecto de mitigación) y una estimación de la confianza científica de que la práctica propuesta puede reducir las emisiones netas globales.....	217
8.	Buenas prácticas agrícolas con acción mitigante	218

Anexo

A1.1.	Costo de la mano de obra en los países de la región (\$/jornal)	240
A1.2.	Estructura de costos del cultivo de árboles en cortinas rompevientos de dos estratos, con 1 112 plantas/km. Jornales y materiales empleados	241
A1.3.	Estructura de costos en sistemas de cultivo de árboles en bosquetes, con 1 111 plantas/ha, en dólares/ha	242
A1.4.	Estructura de costos en sistemas de cultivo de árboles en líneas, con 665 plantas/km, en dólares/km	243
A1.5.	Estructura de costos en sistemas de árboles con frijol, con 512 árboles/ha, en dólares/ha.....	244

A1.6.	Estructura de costos en sistemas de árboles con café, con 128 árboles/ha, en dólares/ha.....	245
A1.7.	Resumen de costos de establecimiento del componente arbóreo en cuatro sistemas agroforestales comunes en Costa Rica: árboles en líneas, cortinas rompevientos (\$/km), bosquetes y árboles con cultivos (\$/ha)	246
A3.1.	Análisis de desempeño de una inversión simulada en cacao orgánico con y sin pago de servicios ambientales (PSA) en Panamá	249

2. Sistemas silvopastoriles en Mesoamérica y restauración de áreas degradadas

1.	Efectos de los árboles en los sistemas silvopastoriles	258
2.	Producción anual de biomasa (kg MS/ha/año) de una pastura de <i>Cynodon plectostachyus</i> asociada con árboles de <i>Cordia alliodora</i> , <i>Erythrina poeppigiana</i> y sin árboles en Turrialba, Costa Rica	259
3.	Características y biomasa arriba del suelo de los árboles dispersos en potreros de cuatro localidades de Centroamérica: Cañas y Río Frío, Costa Rica; Rivas y Matiguás, Nicaragua. 2002-2003	264
4.	Grado de degradación de un pastizal	278
5.	Componentes a considerar en una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de los sistemas silvopastoriles.....	280
6	Especies de gramíneas utilizadas inicialmente en América tropical	285
7.	Áreas temáticas y tecnologías críticas en el manejo del ganado vacuno en sistemas silvopastoriles.....	286
8.	Área agrícola total, tierra arable, área de cultivo y área de pastizales en Mesoamérica por país	287
9.	Emisión de metano por diferentes sistemas de pasturas en g de metano/kg materia seca de forraje consumido por el ganado	292
10.	Emisiones por animal/año en metano (CH ₄) y en CO ₂ e* equivalente, en una lechería de 30 hectáreas y 100 cabezas bovinas.....	293

Anexo

A4.1.	Contenido de macronutrientes en fertilizantes comerciales en América Tropical.....	328
--------------	--	-----

A5.1.	Principales gramíneas y leguminosas herbáceas perennes, nativas e introducidas, adaptadas para utilizarlas como cobertura, bajo pastoreo y/o bajo corte, acarreo o conservación en sistemas silvopastoriles tropicales en Mesoamérica.....	335
A5.2.	Principales arbustos y árboles fijadores de nitrógeno (AFN) y sus usos actuales y potenciales en sistemas de producción agropecuaria en suelos ácidos tropicales de Mesoamérica	340

Figuras

1. Sistemas agroforestales en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas

1.	Diagrama de un sistema agroforestal conceptualizado como agroecosistema con límites, entradas, salidas, componentes e interacción entre los componentes.....	180
2.	Efecto del dosel en los sistemas agroforestales.....	181
3.	Ciclo del sistema de agricultura migratoria tradicional	188
4.	Diagrama del sistema Taungya. Una plantación joven con un cultivo de ciclo corto entre hileras.....	189
5.	Sistema Taungya en una plantación joven de <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba) intercalada con cultivo de <i>Eryngium foetidum</i> (culantro coyote, coriandro, cimarrón) entre hileras ..	190
6.	Sistema Taungya en una plantación joven de <i>Eucalytus deglupta</i> (eucalipto) y <i>Araucaria hunsteinii</i> (klinki) intercalada con cultivo de <i>Zea mais</i> (maíz recién cosechado) entre hileras.....	190
7.	SAF de cultivos en callejones (<i>Alley Cropping</i>) con hileras monofilares de árboles intercalados con un cultivo.....	191
8.	Producción de tomate (<i>Lycopersicum sculentum</i>) con soportes vivos de <i>Erythrina poeppigiana</i>	192
9.	SAF de cultivo en callejones (<i>Alley Cropping</i>) de maíz con hileras de <i>Inga</i> spp. en Honduras	193
10.	SAF de cultivo en callejones (<i>Alley Cropping</i>) de maíz con hileras de <i>Inga</i> spp. en Honduras	193
11.	Poda en hileras de <i>Inga</i> spp. en cultivo en callejones (<i>Alley Cropping</i>)	193
12.	Cortinas rompevientos de <i>Cupressus lusitanica</i> (ciprés) asociadas a cultivos hortícolas.....	194

13.	Interceptación de radiación fotosintéticamente activa (RFA), en tres densidades de plantación de <i>Inga edulis</i>	196
14.	Árbol bien formado, para mantener la sombra lejos del cultivo del café	197
15.	Tipología de doseles en cacao y café	198
16.	La fotosíntesis neta (FN) del dosel aumenta con el índice de área foliar (IAF) pero alcanza un techo cuando IAF > 3	198
17.	Sistema Agroforestal de cafetales con sombra de <i>Erythrina fusca</i> y <i>Erythrina poeppigiana</i>	199
18.	SAF de café con sombra de <i>Eucalyptus</i> spp.....	200
19.	SAF de banano orgánico con hileras de <i>Cordia alliodora</i> , <i>Theobroma cacao</i> y <i>Erythrina berteroana</i> en su etapa inicial	200
20.	SAF de banano orgánico con hileras de <i>Cordia alliodora</i> , <i>Erythrina berteroana</i> y <i>Flemingia</i> a los siete años	201
21.	SAF de café con árboles de sombra de <i>Erythrina poeppigiana</i> después de una poda de “descumbre” tota	201
22.	Árboles de <i>Erythrina poeppigiana</i> con poda total de ramas y estacas producto de poda de ramas , en Tres Ríos, Cartago, Costa Rica	202
23.	SAF de <i>Rubus glaucus</i> (mora) en hileras con <i>Erythrina poeppigiana</i> , en Coronado, Costa Rica	202
24.	Análisis de correspondencia corregido (DCA) de la composición florística del estrato arbóreo de un SAQ y un sistema de tala y quema (STQ).....	203
25.	Agrobosque de cacao en rehabilitación con sombra de múltiples especies arbóreas...	204
26.	Huertos caseros mixtos en Talamanca, Costa Rica.....	204
27.	Cerca viva multiespecífica.....	208
28.	Cerca viva monoespecífica de <i>Erythrina berteroana</i>	208
29.	Seto vivo lindero de <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> en Guácimo, Costa Rica	209
30.	Efectos del viento excesivo sobre componentes de parcelas agropecuarias.....	210
31.	Paisaje agroforestal de cortinas rompevientos asociadas a cultivos hortícolas y pastizales....	212
32.	Cortinas rompevientos de <i>Cupressus lusitánica</i> (ciprés) asociadas a cultivos hortícolas.....	213

33.	Carbono total promedio (toneladas C/ha) almacenado en sistemas agroforestales en cinco países de Centroamérica.....	219
34.	Triángulo de la sostenibilidad derivado del Informe de la Comisión Brundtland.....	224

2. Sistemas silvopastoriles en Mesoamérica y restauración de áreas degradadas

1.	Componentes básicos de un sistema silvopastoril.....	255
2.	Relación de efectos en un sistema silvopastoril	256
3.	Procesos mediante los cuales los árboles mejoran el suelo.....	257
4.	Silvopastura con palmas (Cocos nucifera) en playa Venado, Provincia de Herrera, Panamá. Foto: Raúl Botero.	261
5.	Árboles en pastizales en la región Caribe de Nicaragua	263
6.	Silvopastura de <i>Ischaemum indicum</i> con árboles de <i>Cordia alliodora</i> (laurel)	265
7.	Sistema silvopastoril intensivo de <i>Ischaemum indicum</i> con <i>Gliricidia sepium</i>	266
8.	Sistema silvopastoril intensivo en pastizal natural de <i>Ischaemum indicum</i> con árboles de <i>Erythrina fusca</i>	267
9.	Sistema silvopastoril intensivo de <i>Tithonia diversifolia</i> y <i>Cynodon plectostachyus</i> manejado con cerca eléctrica y con conservación del bosque ribereño en la microcuenca. Finca La Esperanza, Pereira, Colombia.	267
10.	Silvopastura en callejones con hileras de <i>Bactris gasipaes</i> y <i>Cratylia argentea</i>	268
11.	Modelo de las interacciones de una cerca viva de <i>Erythrina berteroana</i> en un potrero de <i>Cynodon dactylon</i> pastoreado con vacas lecheras en una zona tropical húmeda ...	269
12.	Sistema silvopastoril con cercas vivas en Río Frío, Sarapiquí, Costa Rica	270
13.	Cercas vivas, recientemente podadas, de <i>Erythrina berteroana</i> en potreros.....	270
14.	Postes vivos en cercas de <i>Erythrina berteroana</i> y <i>Bursera simaruba</i> con aisladores plásticos para evitar que la corteza se “trague” el alambre	270
15.	Cercas vivas de <i>Erythrina berteroana</i> en potrero, con animales ramoneando rebrotes....	271
16.	Cercas vivas de <i>Erythrina fusca</i> en praderas de <i>Panicum maximum</i> cv.....	271

17.	Banco forrajero de <i>Morus alba</i> recientemente podado.....	272
18.	Efecto de la edad de rebrote en la digestibilidad <i>in vitro</i> de la biomasa total en cuatro especies en un banco forrajero.....	273
19.	Banco de forraje con botón de oro <i>Tithonia diversifolia</i>	274
20.	Aumento en la producción de leche atribuible a la presencia de árboles de <i>Leucaena leucocephala</i> en pastizales	275
21.	Manejo integral silvopastoril	281
22.	Costos de establecimiento (dólares/ha) para sistemas de monocultivo de <i>Cynodon plectostachyus</i> versus un sistema silvopastoril intensivo (<i>Prosopis</i> , <i>Leucaena</i> , <i>Cynodon</i>) ...	294
23.	Costos de mantenimiento (dólares/ha) para sistemas de monocultivo de <i>Cynodon plectostachyus</i> versus un sistema silvopastoril intensivo (<i>Prosopis</i> , <i>Leucaena</i> , <i>Cynodon</i>) ...	294

Anexos

A4.1.	Labranza cero mediante la aplicación de un herbicida químico en parches localizados para la introducción de arbustos y de árboles para establecer una silvopastura.....	316
A4.2.	Labranza cero, lograda mediante la aplicación de un herbicida químico en franjas, en curvas de nivel para la introducción de arbustos y de árboles en contra de la pendiente del lote, en dirección al recorrido del sol (oriente a occidente) y en tres bolillo, para establecer una silvopastura.....	317
A4.3.	Labranza cero, lograda mediante la aplicación de un herbicida químico en cobertura total, en curvas de nivel para la introducción de pastos, arbustos y de árboles en contra de la pendiente del lote, en dirección al recorrido del sol (oriente a occidente) y en tres bolillo, para establecer una pastura	317

1. Sistemas agroforestales en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas

Autor | **Ricardo O. Russo**

1.1 Antecedentes

En Mesoamérica, los sistemas agroforestales (SAF) se remontan a la civilización Maya desde el 600 hasta el 300 a. de C., con un apogeo que se estima perduró hasta el 300 o 900 d. C. Según Morley (1972). Esta cultura se desarrolló en la región de los bosques húmedos, pero se afirma que su sistema agrario se habría desarrollado en las tierras altas de Guatemala hasta alcanzar la selva del Yucatán donde practicaron un estilo de agricultura prehispánico adaptado al manejo del bosque, que bien podría llamarse agroforestería.

Básicamente, los mayas fueron “policultores” y, además de la tecnología agrícola andina (terrazas, riego), se puede considerar una cultura con un profundo conocimiento del manejo del bosque natural: desde rotación y descanso de la tierra en el sistema de cultivo itinerante, hasta la tala selectiva que dejaba en pie los árboles útiles (anona, cacao, ceiba, chicle, chicozapote, ramón). Cultivaban en pequeñas abras o claros en el bosque, y del bosque vecino manejado sacaban medicinas, alimentos y materiales de construcción. Todo este sistema de manejo del bosque natural y de la agricultura itinerante se basaba en el conocimiento del ciclo fenológico de ciertos árboles. Por ejemplo, la tumba se hacía cuando florecía el *Cochlospermum* spp., la quema cuando sus frutos se abrían. Además practicaron la horticultura y la fruticultura en sistema de varios pisos (Glico y Morello 1980).

Se calcula que en América Latina los SAF alcanzan un área entre 200 y 357 millones de ha, incluidos 14-26 millones de ha en América Central. Los más prominentes son los SSP comerciales y los SAF de cultivos perennes bajo sombra, incluyendo cafetales y cacaotales (Somarriba et ál., 2012).

En la actualidad, puede surgir una controversia conceptual si la agroforestería es una actividad forestal o una actividad agrícola, desde el punto de vista del uso de la tierra y el ordenamiento

territorial. La agroforestería como concepto no debe confundirse con otros términos relacionados, tales como influencias forestales, que cubren todos los efectos que tienen los bosques y los árboles sobre el medioambiente y sobre la agricultura en particular, y los aspectos socioeconómicos de la producción forestal. De manera que no cualquier tipo de combinación de árboles forestales, frutales, ornamentales o de servicio con cultivos agrícolas o pastos, se define como sistemas agroforestales. Se requiere que su combinación sea intencional, efectuada en forma sistemática y con el propósito de producir varios tipos de productos; que el sistema sea el resultado de una interacción importante, tanto ecológica como económica, entre varios tipos de cultivos; y que el sistema mantenga o mejore, en lo posible, la capacidad productiva de la tierra.

En la literatura se encuentran muchos conceptos, muy coincidentes en muchos aspectos, que han llevado a un proceso de construcción de la definición de sistemas agroforestales, en primer lugar, y de agroforestería como un colectivo que agrupa las diferentes modalidades afines.

1.2 Objetivos

Al concluir esta unidad las/los lectores estarán en capacidad de:

- Reconocer los criterios que se utilizan para definir y clasificar los sistemas agroforestales y la agroforestería.
- Tener criterios propios para caracterizar un sistema agroforestal en general.
- Identificar la proyección, perspectivas, potencialidades y limitaciones que tienen los sistemas agroforestales para recuperar áreas degradadas a través de la restauración y mitigación del cambio climático.
- Identificar aquellos sistemas agroforestales más apropiados para recuperar áreas degradadas a través de la restauración y mitigación del cambio climático.

1.3 Justificación

Es importante definir qué es agroforestería y una definición consiste en una proposición que delimita en forma exacta y precisa la comprensión de un concepto para distinguirlo de los demás (del latín *definitio*, derivado de *definiré*, marcar los límites [«fines»], delimitar, determinar, precisar). Aún así, existen diferentes clases de definiciones. En nuestro caso se tratará de explorar los avances de la definición operacional de agroforestería, que es aquella que indica la operación, que se puede reproducir experimentalmente y cuyo resultado objetivo es directamente accesible a la observación empírica o a la medición.

La agroforestería como estrategia de manejo y uso de la tierra cumple una serie de objetivos que permiten orientar la producción dentro del concepto de desarrollo sostenible: a) en lo ambiental (producción en armonía con el ambiente); b) en lo técnico (producción integrada

con el mejor aprovechamiento de los recursos existentes en la finca); c) en lo económico (incremento de la productividad); y d) en lo social (igualdad de deberes y oportunidades, así como mejoramiento en la calidad de vida del grupo familiar).

Dado que existe un conjunto de definiciones, más que una definición única de agroforestería y sistemas agroforestales, se justifica explorar la evolución histórica y las coincidencias mínimas de criterios para definirlos y aplicarlos en la recuperación de áreas degradadas.

Saber como clasificar los SAF permite señalar qué tipo o grupo determinado de SAF es adecuado para una zona en particular con características propias. El mayor beneficio que los SAF pueden aportar, por ejemplo a las zonas degradadas o en pendiente, es su capacidad para combinar la conservación de suelos con funciones productivas.

1.4 Desarrollo histórico

Uno de los primeros documentos sobre agroforestería en América Central posiblemente fue el de Cook (1901) quien reconoció varios efectos benéficos de los árboles de sombra en los cafetales, particularmente los leguminosos. Holdridge (1951) describió el uso de *Alnus acuminata* asociado con pastizales en las tierras altas de Costa Rica. Este tipo de sistemas de uso de la tierra fue también descrito por Budowski (1957), quien reportó el éxito de *Cupressus lusitánica* como rompeviento, en las tierras altas de regiones lecheras y de *Cordia alliodora* en pastizales en tierras bajas húmedas, ambos en Costa Rica.

Según Holdridge (1979), existen tres usos productivos de la tierra: agrícola, ganadero y forestal; y si bien otras actividades humanas ocupan tierra, no utilizan directamente el recurso suelo como lo hacen los tres usos principales mencionados. La actividad agroforestal surge cuando se complementan algunos de los primeros usos con el forestal. Esta combinación al mezclar especies con requerimientos diferentes, también permite aumentar la interceptación de la radiación por estratificación vertical de los componentes y una mejor utilización del espacio horizontal.

Combe (1979) identificó tres campos principales de hipótesis relacionados con los SAF en el marco de la economía, la ecología y la silvicultura:

Hipótesis económica: se presume que, a largo plazo, los SAF permiten obtener ingresos netos superiores por unidad de superficie, a los ingresos, posibles, con cada componente aislado.

Hipótesis ecológica: se presume que los árboles en un SAF contribuyen a la conservación del ambiente, y particularmente del suelo, sobre todo cuando la combinación inducida representa una simulación de los tipos de vegetación que ocurrirían en las sucesiones naturales. Además de los efectos sobre el suelo, se presumen impactos importantes sobre el microclima, sobre la fauna y sobre otros factores que afectan el equilibrio biológico.

Hipótesis silvícola: se presume que los árboles en un SAF pueden y deben ser manejados según los principios de la silvicultura clásica, tomando siempre en cuenta los requerimientos particulares de los cultivos asociados. El tratamiento silvicultural adecuado constituye una condición indispensable para lograr y optimizar los resultados positivos, tanto económicos como ecológicos, expuestos en las hipótesis anteriores.

En Mesoamérica, hubo un proceso histórico, que tuvo sus comienzos con la definición de Combe y Budowski (1979), presentada, dicho año, en el Primer Taller de Sistemas Agroforestales realizado en Turrialba, Costa Rica que puede resumirse así:

Es el conjunto de técnicas de uso y manejo de la tierra que implica la combinación de árboles con cultivos agrícolas (anuales y/o perennes), con animales o con ambos a la vez, en una parcela, ya sea simultáneamente o sucesivamente, para obtener ventajas de la combinación.

Estas combinaciones pueden ser simultáneas o escalonadas en el tiempo y en el espacio, y su objetivo es optimizar la producción del sistema y procurar un rendimiento sostenido” (Combe y Budowski 1979; Lundgren 1987).

Con la creación del Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF¹ por sus siglas en inglés) en Nairobi, Kenia en 1977/78 se estableció un espacio de discusión y análisis sobre la temática agroforestal. En este marco de debates internos, se refinaron las ideas iniciales y se consensuó una definición en la que se destacó el criterio de “asociación deliberada” y el de “interacciones significativas ecológicas y/o económicas entre sus componentes” (Lundgren y Raintree 1982; Nair 1985).

Agroforestería es un nombre colectivo para los sistemas y tecnologías de uso de la tierra donde leñosas (árboles, arbustos, palmas, bambúes, etc.) son utilizadas deliberadamente en las mismas unidades de manejo de la tierra junto con cultivos agrícolas y/o animales, donde existen interacciones ecológicas y económicas entre los diferentes componentes, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal.

En la década de los años 80 hubo coincidencia en que la agroforestería es una modalidad de uso integrado de la tierra que busca una mayor producción, especialmente bajo condiciones de tierras marginales o de bajo nivel de insumos sobre una misma unidad de superficie, y se ejemplifican algunos casos de SAF en Mesoamérica, tales como los cafetales o cacaotales con sombra de *Erythrina* y *Cordia*, y a su vez se introduce el concepto de “prácticas agroforestales” como aspectos operativos de un SAF, por ejemplo, la poda de los árboles del sistema (Dubois 1987, Nair 1985, Von Maydel 1984).

Simultánea y coincidentemente, Somarriba (1990, 1992), hizo una análisis conceptual y estructuró la definición con requisitos o condiciones: “Agroforestería es una forma de uso de

1 Actualmente Centro Mundial de Agroforestería (*World Agroforestry Centre*) pero mantiene el acrónimo ICRAF.

la tierra, de cultivos múltiple, en la que se cumplen algunas condiciones fundamentales: 1) Existen al menos dos componentes que interactúan biológicamente; 2) Al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) Al menos dos especies son manejadas con fines “agrícolas” en el sentido amplio de la palabra”.

Nair (1993) valida esta definición y agrega algunas condiciones: a) La agroforestería involucra normalmente dos o más especies de plantas (o plantas y animales), donde al menos una de ellas es una leñosa perenne; b) Un SAF siempre tiene dos o más salidas o productos; c) El ciclo de un SAF es siempre mayor de un año; y d) Aún el SAF más simple es más complejo, ecológica (estructural y funcionalmente) y económicamente, que un sistema de monocultivo. Esta definición, si bien aún, no es “perfecta” en todos los aspectos, fue utilizada con mucha frecuencia en las publicaciones de ICRAF y logró amplia aceptación.

Ospina (2003) recuperó más de cincuenta definiciones de Agroforestería y otros términos equivalentes; como también, presenta la evolución del término a partir de aspectos o descriptores que identificó en su investigación.

Hasta ese momento la mayoría de los estudios de agroforestería eran descriptivos desde el punto de vista biofísico, además, se aceptaba que la agroforestería era una nueva denominación para un conjunto de viejas prácticas; pero que cada vez se prestaba más atención a los aspectos socioeconómicos (Nair 1993, Mercer y Miller 1998), que han sido ampliamente discutidos por Krishnamurty y Ávila (1999), e incluyen una gran diversidad de productos tales como madera, follaje, frutos, resinas, combustible y forrajes; y numerosos servicios ambientales (climáticos, hidrológicos, edáficos, ecológicos) y humanos (éticos y estéticos).

Si se considera que un SAF es un agroecosistema, que según Hart (1985), es un ecosistema que incluye un componente productivo agrícola o pecuario (poblaciones de cultivos, animales domésticos o ambos), se puede definir un SAF como un agroecosistema con un componente arbóreo (Figura 1). Esta definición, si bien es muy simple, permite una identificación rápida para nuestro propósito.

Por otra parte, también se han manejado otras definiciones prácticas, entre ellas tenemos:

“Agroforestería es un conjunto de técnicas silviculturales aplicadas a la producción agrícola o ganadera”.

“Agroforestería es una estrategia biológica inducida que hace más sustentable los agroecosistemas”.

“Agroforestería es una combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que implican el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios y/o animales en forma simultánea o secuencial, garantizando a largo plazo una productividad aceptable y aplicando prácticas de manejo compatibles con las habituales de la población local”.

De todas ellas lo importante es considerar que cuando se diseñan nuevos agroecosistemas (incluidos los SAF) se deben considerar las interacciones entre los individuos y su ambiente local, los patrones espaciales y temporales de las actividades productivas, las relaciones sociales de producción y las interacciones entre las comunidades y el mundo exterior.

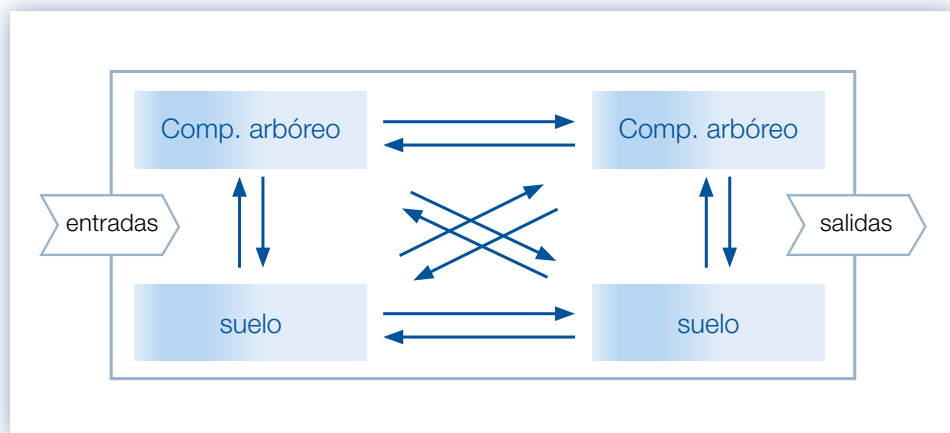


Figura 1. Diagrama de un sistema agroforestal conceptualizado como agroecosistema con límites, entradas, salidas, componentes e interacción entre los componentes. Las entradas son la radiación solar, la precipitación pluvial, los insumos al cultivo y el dinero invertido en el sistema. Las salidas son los productos agrícolas, la madera y la leña del componente arbóreo y los servicios ecosistémicos o ambientales. El manejo es la gestión que el agricultor(a) hace con los componentes y los insumos.

Fuente: elaboración del autor, 2015.

1.5 Las interacciones entre componentes en los sistemas agroforestales

El funcionamiento y la capacidad de adaptación de los SAF dependen de una relación dinámica entre las especies vegetales (componente leñoso y cultivos herbáceos o leñosos), y su entorno abiótico (suelo y manejo), así como las interacciones físicas y químicas en el medioambiente (precipitación pluvial, temperatura). Son relaciones dinámicas y de naturaleza holística. Estas interacciones y procesos tienen mucha importancia para el mantenimiento a largo plazo de la sostenibilidad del sistema.

Si bien las interacciones son complejas e interrelacionadas simultáneamente, se pueden simplificar desde el punto de vista de la relación biológica entre las dos poblaciones básicas de un SAF, el componente leñoso y un cultivo; puede que se beneficien o que se dañen uno al otro; o en otros casos, que la relación sea neutra, todo esto en función de la densidad del componente arbóreo, el tipo de sombra que produce según el tipo de copa, la especie leñosa, su hábito de ramificación y el tipo de dosel, que tiene un papel fundamental en los SAF.

Cuadro 1. Efectos del componente leñoso (árboles, arbustos, palmas y bambúes) de un sistema agroforestal sobre el suelo y los cultivos

Efectos del componente leñoso (árboles, arbustos, palmas, bambúes)	
Sobre el suelo	Sobre el cultivo
Aporte de hojarasca aumenta materia orgánica	Evitan exposición excesiva a la radiación
Incorporación de nutrientes	Interceptan y disminuyen el viento
Descomposición de raíces	Atenúan el impacto de las lluvias
Control de erosión	Reducen la temperatura
Favorecen infiltración de agua	Aumentan humedad relativa
Limitan la escorrentía	Reducen malezas
Mejoran la estructura	Retardan y homogeinizan maduración de frutos

Fuente: elaboración del autor, 2015.

1.6 Efecto del dosel en los sistemas agroforestales

El dosel (*canopy* en inglés) es el conjunto de copas u órganos vegetales de los árboles de un SAF que intercepta la luz o radiación fotosintéticamente activa (RFA) que pasa a través del mismo y llega a los cultivos asociados debajo del dosel y la modifica (filtra y atenúa) en cantidad y calidad. En esta intercepción, conocida como sombra, se producen efectos físicos (luz/sombra, eficiencia de absorción, modificación espectral de la luz transmitida) y también se desencadenan acciones fisiológicas, tales como: el fotocontrol de la germinación, la elongación de entrenudos, la expansión foliar y la formación del aparato fotosintético en los cultivos asociados (Figura 2).

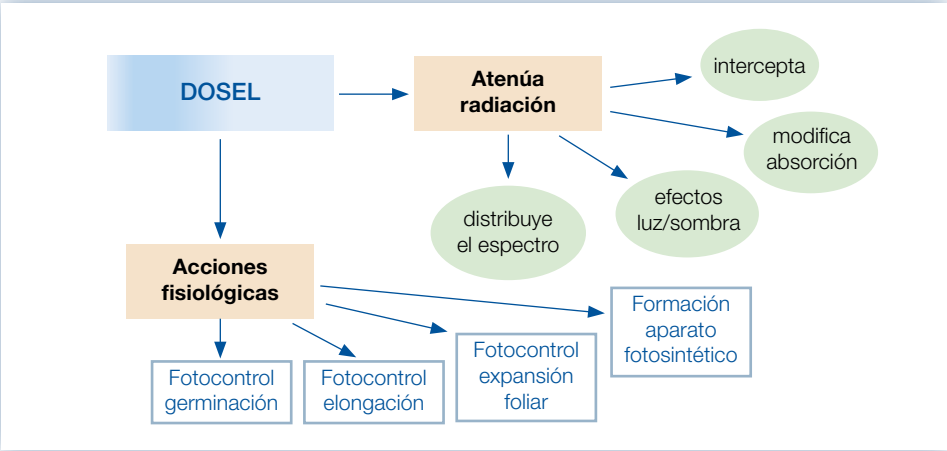


Figura 2. Efecto del dosel en los sistemas agroforestales.

Fuente: elaboración del autor, 2015.

El dosel se caracteriza por tener una estructura y una composición florística que puede manejarse, y así, regular la cantidad de sombra en función de las necesidades del cultivo y los objetivos del productor. Para medir la densidad del dosel agroforestal se puede utilizar el Índice de Área Foliar (IAF), que representa la suma de la totalidad de las superficies de las hojas existentes en un área de suelo. El IAF es un indicador de la capacidad del dosel para interceptar la radiación solar y predecir el tipo de sombra que produce: densa, mediana o liviana.

El tipo de sombra que el dosel produce también puede expresarse en porcentaje de cobertura de las copas, en expresiones tales como 50% de sombra; aunque no necesariamente es un indicador preciso porque la sombra es un proceso dinámico que se mueve en el piso del SAF a medida que el sol hace su movimiento aparente en el horizonte.

La posición, forma y acumulación de las sombras de árboles, en distintos lugares y en distintas fechas y horas de una parcela agroforestal, se puede calcular con un *software* diseñado en el CATIE denominado *ShadeMotion* (www.shademotion.com). Para usar este programa es necesario suministrar el número de árboles, ubicación, forma, tamaño y densidad de follaje de cada uno; así como el tamaño del terreno: grado de pendiente y latitud geográfica en donde se encuentra la parcela (Quesada et ál. s/f, Somarriba 2002, 2004, 2007, 2013).

1.7 Potencialidad de los sistemas agroforestales

La agroforestería es importante para la seguridad y soberanía alimentaria porque permite producir alimentos y otros bienes y servicios en una agricultura de pequeña escala adaptada a las necesidades locales. También es un enfoque apropiado a las circunstancias y entornos socioculturales y económicos de los pequeños(as) productores. Es decir, es una oferta tecnológica adecuada a las condiciones biofísicas, socioeconómicas e histórico-culturales que determinan la estructura y el funcionamiento de la pequeña agricultura. Adicionalmente, permiten una aproximación sistémica a la realidad.

La agroforestería no solo puede ser una solución funcional local al problema alimentario y de producción de otros bienes y servicios, sino que en la práctica es una solución a los problemas de áreas degradadas por su función como regulador y protector del medioambiente (Russo 1981). Además, los SAF pueden utilizarse en múltiples situaciones de sitios, ya sea llanuras con y sin estación seca como zonas tropicales de altura con pendientes elevadas.

Aumentar la productividad supone conseguir incrementos de producción por unidad de recursos utilizados para obtener bienes y servicios (FAO 2000). Ante este desafío, Mendieta y Rocha (2007) argumentan que es necesaria una estrategia apropiada para aumentar la producción de alimentos cuando manifiestan: *...incrementar la producción de alimentos proviene principalmente del aumento de la tasa de productividad de los suelos actualmente cultivados, más que de los demás recursos de la tierra en las fincas...* y que los SAF: *...permiten interacciones simbióticas ecológicas y económicas, entre los componentes maderables y no*

maderables para aumentar, sostener y diversificar la producción total de la tierra... y que: ... tienen la ventaja de producir leña, frutos, forraje, y otros productos además del cultivo anual y disminuyen los riesgos de producción ante variaciones estacionales del ambiente, y en términos generales, mantienen y mejoran el suelo.

Además, cuando el componente arbóreo está compuesto por una o varias especies fijadoras de nitrógeno (AFN, leguminosas o actinorhizales), la fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico es un valor agregado al sistema que mejora la fertilidad del suelo y disminuye el insumo de fertilizantes.

1.8 Los servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales

Servicios ambientales (SA) o ecosistémicos (SE), son los beneficios (en forma de bienes o servicios) que obtienen las personas de los ecosistemas, en nuestro caso los sistemas agroforestales (SAF). El concepto de SA-SE no es nuevo; ya en 1998 fueron definidos en documentos del Banco Mundial, lo que ha permitido incluirlos en mercados o formas de compensaciones.

Las diferencias entre SA o SE y bienes ambientales, fueron analizadas por Hueting et ál. (1998), quienes definieron a los SA como las posibilidades o el potencial que puede ser utilizado por los humanos para su propio bienestar, diferenciándose de un bien ambiental, que lo definen como un producto de la naturaleza directamente aprovechado por el ser humano (algunos ejemplos en el Cuadro 2).

La principal característica de los SA es que no se transforman ni se gastan en el proceso de utilización del consumidor; mientras que los bienes ambientales son utilizados como insumos en los sistemas productivos, y en este proceso, se transforman y se agotan.

Cuadro 2. Bienes y servicios ambientales o ecosistémicos de los sistemas agroforestales

Bienes ambientales	Servicios ambientales
Alimentos (producción agrícola)	Captación hídrica
Madera y leña	Reciclaje de nutrientes
Forrajes	Protección y formación de suelo
Plantas medicinales	Control de inundaciones
Frutas para consumo	Retención de sedimentos
Semillas	Hábitats para avifauna
Fauna silvestre (biodiversidad)	Regulación del microclima
Recursos genéticos (biodiversidad)	Fijación de dióxido carbono atmosférico
Agua para uso doméstico y riego	Fijación de nitrógeno atmosférico (AFN)
Material para propagación (estacas)	Dispersión de semillas
Materiales de construcción	Belleza escénica
Ingresos monetarios	Protección de cuencas

Fuente: modificado a partir de Hueting et ál. 1998.

Gupta (1995) discutió diez mitos acerca de los SAF y resalta su rol en rehabilitación de tierras degradadas en las regiones áridas, semiáridas y en otras regiones marginales. Incluso reconoce el potencial de los SAF en la conservación de tierras y su papel en los programas de manejo de cuencas. Además, sostiene que los SAF se han basado en los sistemas de conocimiento ancestrales, con base cultural y ecológica local. Entre los mitos aplicables a la región mesoamericana están:

- Las personas pobres tienen menos tiempo y tienen pocos árboles en sus fincas,
- se necesitan especies de crecimiento rápido, porque no se puede esperar demasiado tiempo para obtener ingresos,
- la agroforestería solo puede sobrevivir a través de incentivos,
- los SAF pueden ser diseñados principalmente sobre la base de las propiedades físicas del suelo, tradiciones socio-culturales locales y valores,
- el modelo de la revolución verde, puede ser replicados en los SAF,
- los SAF viables deben enfocarse en especies arbóreas de uso múltiple (EAUM),
- la agroforestería es un nuevo concepto, y por lo tanto, los agricultores(as) necesitan ser entrenados y motivados.

Si bien han pasado casi dos décadas, muchos de estos mitos siguen vigentes.

En cuanto a que los agricultores(as) necesitan ser entrenados y motivados, no necesariamente es un mito, dado que reconoce la importancia de la extensión (difusión-enseñanza-aprendizaje) de los SAF. Habría que agregar que la gente esté de acuerdo en incluir el componente arbóreo para procurar mayor estabilidad en los sistemas de producción.

En este manual se pretende hacer una imagen del estado actual de los SAF en forma detallada, dinámica y explicativa, enfatizando los roles de los diferentes componentes, tratando de incluir aspectos biofísicos, socioeconómicos y ambientales.

1.9 Los SAF en el mundo globalizado de la agricultura

La FAO (2010)² afirma que la agricultura en los países en desarrollo debe hacerse “climáticamente inteligente” para hacer frente al doble desafío de alimentar a un planeta más caliente y más poblado. A su vez el Grupo del Banco Mundial está aportando financiamiento para fomentar un entorno que sea: **a) ecológico**, en el cual los recursos naturales sean objeto de una gestión y conservación sostenibles para mejorar los medios de subsistencia y garantizar la seguridad alimentaria; **b) limpio**, en el cual la existencia de aire, agua y suelos

2 <http://www.fao.org/news/story/es/item/46954/icode/>

más limpios permita a las personas llevar vidas sanas y productivas; y **c) con capacidad de adaptación**, que permitan afrontar conmociones y sean menos vulnerables a los desastres naturales, las características meteorológicas volátiles y otros impactos del cambio climático, a lo que denomina “climáticamente inteligente”. Por tanto, los SAF pueden ser considerados como “agricultura inteligente” porque llenan los tres criterios básicos que la definen: 1) son **ecológicos**; 2) son **limpios**; y 3) tienen **capacidad de adaptación**.

Asimismo, los SAF pueden representar formas sostenibles del uso de la tierra, lo cual depende de los componentes que los constituyen y su funcionamiento en el agroecosistema según el manejo que se les dé. Tal como se ha planteado, la obtención de una variedad de productos para la satisfacción de múltiples necesidades, la reducción de riesgos por la diversidad de componentes productivos, las relativas mayor autosuficiencia y seguridad alimentaria del productor, sitúan a los SAF como sistemas de producción sostenibles en la medida que satisfagan las necesidades presentes, sin deteriorar los recursos básicos, ofreciendo, a su vez, posibilidades para las generaciones futuras (Current, 1997).

La agroforestería, no solo enfatiza la integración del componente arbóreo en las fincas, sino también en el paisaje agrícola. Dado que un paisaje se define como un mosaico de ecosistemas o hábitats, compuestos de elementos individuales tales como bosques, parcelas agrícolas o agroforestales, pastizales y corredores boscosos, caracterizados por su topografía, que a su vez influencia el flujo y distribución de energía y materiales y de los procesos bióticos (Sanderson y Harris, 2000); se reconoce que las prácticas agroforestales influyen la estructura y la composición florística de los paisajes tropicales.

Se puede decir que la agroforestería es un enfoque no solo de manejo de los recursos naturales, sino también de conservación de la biodiversidad en áreas tropicales, porque combina metas de desarrollo agrícola sostenible para los agricultores de escasos recursos, dándole mayores beneficios ambientales que los que se obtienen de los sistemas agrícolas menos diversificados (Schroth et ál. 2004). Por ejemplo, el aumento progresivo de las aves en los SAF es importante desde el punto de vista de la conservación, debido a que con una mayor complejidad estructural del sistema se favorece la llegada y el establecimiento de especies clave y se promueve la conectividad. Desde el punto de vista productivo, el incremento de las aves en SAF permite aumentar los SA relacionados con la polinización, la dispersión de semillas y el control biológico de insectos plaga. De esta manera, las aves que se recuperan en los SAF pueden contribuir a mejorar la belleza escénica y proporcionar algunos servicios de regulación importantes para el productor.

Finalmente, con la preocupación del Cambio Climático (CC) y el Calentamiento Global (CG), la comunidad internacional ha reaccionado con acciones sectoriales para mitigar estos fenómenos y adaptar los ecosistemas a las nuevas realidades. Los SAF por su capacidad de fijar dióxido de carbono atmosférico en la biomasa aérea y en los suelos son una herramienta de mitigación del CC y el CG. Por tanto, los SAF deberían ser reconocidos de una manera

explícita en la legislación existente de los países mesoamericanos tendiente a la Neutralidad de Carbono y sus reducciones contabilizadas en los proyectos de Carbono Neutralidad.

1.10 Clasificación y caracterización de los sistemas agroforestales

Desde el inicio de los años 80, el Consejo Internacional de Investigaciones Agroforestales (ICRAF), se propuso desarrollar una metodología para el diagnóstico de problemas de manejo de la tierra y el diseño de los SAF (DyD). Desde entonces cientos de documentos (artículos, ponencias y manuales), en relación con la metodología DyD, han sido publicados por el ICRAF. La metodología se ha utilizado para desarrollar planes agroforestales e identificar las prioridades de investigación para una amplia gama de condiciones ecológicas y culturales en las regiones tropicales de África, América Latina y Asia (Raintree 1987).

Clasificar los sistemas agroforestales con sus variantes ambientales y de sitio ha sido una labor difícil que tomó mucho tiempo sin alcanzar consenso ni una clasificación global. En este contexto, el ICRAF realizó un inventario mundial de SAF entre 1982 y 1987, cuyos resultados dieron lugar a un esquema de clasificación que es generalmente aceptado en la actualidad (Nair 1989). Dicho inventario estuvo diseñado para recopilar, reunir, sintetizar y difundir información sobre los SAF existentes en los países en desarrollo. Este proyecto también permitió generar una lista de las principales plantas herbáceas y leñosas perennes reportadas como componentes de los sistemas existentes y sus principales usos en diferentes regiones.

Para clasificar los SAF pueden emplearse diferentes criterios según la estructura, función y arreglo de los componentes en el tiempo y el espacio. Se pueden dar un gran número de variantes. A inicios de los años 90, Nair (1993) hizo una agrupación de clasificaciones agroforestales en cuatro grupos: 1) Por su estructura; 2) Por sus funciones; 3) Ecológica; y 4) Basada en criterios socioeconómicos; aunque, han prevalecido las dos primeras.

Conocer las clasificaciones existentes permite identificar aquellos SAF más apropiados para recuperar áreas degradadas a través de su restauración. Sin embargo, cuando se usan los SAF con el fin de detener la deforestación y la recuperación de áreas de bosque degradado, los resultados pueden no ser satisfactorios sino se toman previsiones para el bienestar social de las personas involucradas.

Entre las primeras clasificaciones (Combe y Budowski 1979, Nair 1985), los SAF fueron agrupados en secuenciales, simultáneos y lineales, según la secuencialidad o simultaneidad del componente arbóreo y el cultivo, y por tipo del cultivo acompañante (anual o perenne). Entre los SAF secuenciales se encuentra la agricultura migratoria (*shifting cultivation*) y los sistemas *Taungya* (cultivos anuales intercalados en una plantación forestal). En los SAF simultáneos, se agrupan todas aquellas combinaciones en el mismo tiempo y lugar de árboles con cultivos (anuales o perennes), o con pasturas; mientras que en los lineales se agrupan las cercas vivas, los setos vivos y las cortinas rompevientos. En el Cuadro 3 se

presentan algunos ejemplos de los SAF tradicionales (los SAF no tradicionales son las asociaciones innovadoras) descritos con más frecuencia en Mesoamérica.

Visto que las clasificaciones agroforestales más conocidas son jerárquicas y arbitrarias, porque el objetivo es definido por el usuario, y que existen niveles de organización por: componentes (árboles, cultivos, ganadería), arreglos temporales (secuenciales o simultáneos) y arreglos espaciales, entre otros. Al considerar que hay relación entre los conceptos de la definición y la construcción de una clasificación, es importante tener claridad sobre aspectos de manejo: silvicultura, densidades de siembra, costos de establecimiento y mantenimiento, servicios ambientales proporcionados y producción forestal asociado a los SAF, para evitar ambigüedad cuando se clasifican.

Cuadro 3. Ejemplos de sistemas agroforestales tradicionales

Sistemas agroforestales tradicionales		
Bienes ambientales	Servicios ambientales	
SAF Secuenciales	Agricultura migratoria	La agricultura tradicional de roza, tumba y quema practicada desde tiempos antiguos.
	Sistemas Taungya	Combinación temporal de una plantación forestal durante su fase de inicial, con la producción de cultivos anuales hasta que la sombra del dosel lo permita (Figuras 5 y 6).
SAF Simultáneos	Árboles con cultivos anuales	Cultivos en callejones (<i>Alley Cropping</i>), se asocian hileras de una leñosa fijadora de nitrógeno con un cultivo anual (Figuras 9, 10 y 11).
	Árboles con cultivos perennes	Cultivo de café o cacao bajo árboles de sombra tales como <i>Erythrina poeppigiana</i> y/o <i>Cordia alliodora</i> (Figuras 18 a 21).
	Agrobosques	Manejo de bosques secundarios, en asocio con una o varias especies arbóreas de utilidad económica. Sistemas Quesungual o Kuxum-Rum (Figura 22).
	Sistemas silvopastoriles	Asociación de árboles con pastos y ganado. Pastoreo en plantaciones forestales y frutales.
	Huertos caseros mixtos y huertos leñeros	Se caracterizan por su complejidad, son multiestratificados, asocian diversas formas de vida y se trata de mantener la producción durante todo el año (Figura 19).
Sistemas lineales o en alineación	Cercas vivas	Cercas con postes vivos a los que se les fija el alambre y son podados periódicamente (Figuras 28 y 29).
	Setos vivos	Hilera de especies arbóreas establecidas a distancias muy cercanas (Figura 30).
	Cortinas rompevientos	Hileras múltiples de una especie arbórea plantadas en forma normal con la dirección de los vientos predominantes (Figura 12).

Fuente: modificado de Combe y Budowski (1979) y Nair (1985).

1.10.1 Sistemas agroforestales secuenciales

Los SAF secuenciales ocurren en un sitio donde existe una sucesión cronológica entre un lapso de tiempo con cultivos anuales y otro con un componente forestal; es decir, que los cultivos anuales y una regeneración del bosque natural o plantaciones de árboles se suceden

en el tiempo. Esta categoría incluye modalidades de agricultura migratoria con manejo de barbechos y los sistemas Taungya, donde se realizan cultivos anuales intercalados entre hileras de arbolitos en la etapa de establecimiento de una plantación forestal, hasta que el follaje de los árboles se encuentre desarrollado.

1.10.1.1 Agricultura migratoria

La agricultura migratoria también llamada itinerante, nómada o “*shifting cultivation*” es posiblemente el más antiguo de los sistemas agrícolas y consiste en la tala y quema de la vegetación natural con el objetivo de despejar la tierra para cultivar. Por otra parte, ha sido una fuente importante de subsistencia para poblaciones rurales en los trópicos. Su aplicación ha variado de acuerdo con el sitio y las condiciones locales, pero varias prácticas son casi universales; entre ellas, la rotación de los sitios de cultivo o milpas (rotación de árboles y cultivos agrícolas), la limpieza de terrenos mediante la quema (roza-tumba-quema en México), la exclusión de abonos químicos, el uso exclusivo de trabajo manual, la siembra a mano y cortos periodos de cultivo alternados con largos periodos de barbecho. El sistema se desarrolló en condiciones de baja densidad poblacional, orientada hacia la subsistencia, con una alta concurrencia de bosques y producción simultánea de varios cultivos con distintos plazos de cosecha. La fertilidad se restaura mediante un largo periodo de barbecho, y durante la primera estación de producción hace falta poco o ningún desmalezado (Wadsworth 1997). Este SAF no es una opción para recuperar áreas degradadas, y aún la FAO recomienda otras alternativas a la agricultura itinerante. Además, los barbechos de la roza, tumba y quema sirven como hábitats para la vida silvestre, como corredores entre parches de bosque y como escudos contra los efectos de borde, tales como temperaturas extremas, desecación e incendios (Ferguson y Griffith 2004).

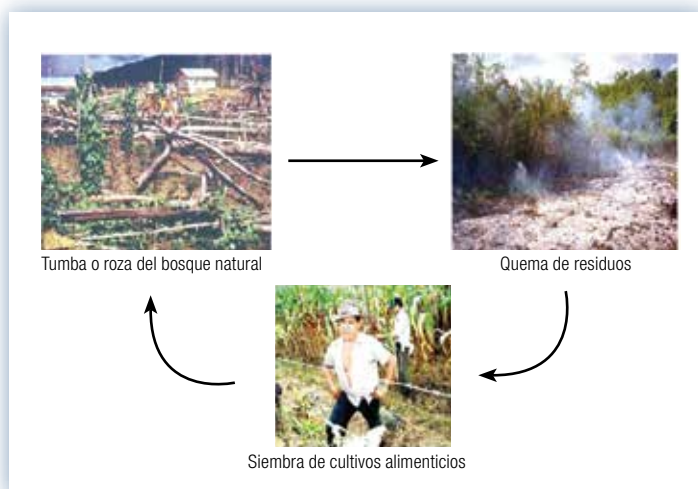


Figura 3. Ciclo del sistema de agricultura migratoria tradicional.

Fuente: Mendieta y Rocha (2007)

1.10.1.2 Sistemas Taungya (ST)

El ST es un método de reforestación que permite la combinación temporal de una plantación forestal en su fase de establecimiento con la producción de cultivos de ciclo corto, como maíz y frijol u hortalizas. Bajo ciertas condiciones el ST funciona mejor que la reforestación pura, dado que hay un uso intermedio de la tierra en agricultura, que sino se diese podrían proliferar malezas que compiten con la plantación (Combe 1985). La palabra birmana *taungya* significa literalmente “terreno de ladera” (Birmania, hoy Myanmar, de donde el sistema emigró en 1870). En la India esa misma práctica se llamó “kumri”. En Java, el ST se usó para plantar 40 000 ha de *Tectona grandis* a finales del 1800; en 1920 había 190 000 ha, en 1952, 312 000 ha y actualmente exceden 700 000 ha (Krishnapillay, 2000).

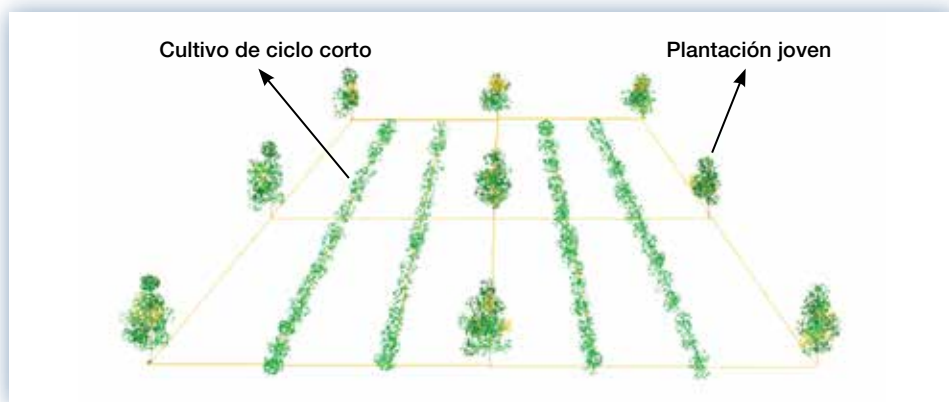


Figura 4. Diagrama del sistema Taungya. Una plantación joven con un cultivo de ciclo corto entre hileras.

Fuente: elaboración del autor, 2015.

El rendimiento de los cultivos anuales con las combinaciones taungya suelen ser menores que en los cultivos puros, pero producen ingresos que cubren los costos de plantación y pueden ser considerados un valor agregado a la reforestación que de otro modo no se obtendría. Para tener éxito, el ST debe ser aplicado en sitios donde hay necesidad de terrenos y los suelos son adecuados para producir cultivos alimenticios con rendimientos temporales razonables, sin causar un deterioro excesivo del suelo. Las especies arbóreas en demanda son de adaptabilidad comprobada y existe una población campesina con personal local entrenado para operar el sistema (Wadsworth 1997).

El ST ha sido de mucho éxito como forma de establecer plantaciones forestales en diferentes condiciones. En las zonas secas de Myanmar, con 450 a 1 100 mm de precipitación anual, se establecieron bosques comunales durante 2-3 años usando sistemas taungya con el objetivo de producir madera para pulpa y proporcionar leña a partir de: *Acacia* spp., *Albizia lebbek*, *Senna siamea*, *D.sissoo*, *M. azedarach*, *Prosopis* spp. y eucaliptos.

Un ejemplo son las plantaciones de *Gmelina* arborea en Jari en el sur de Brasil, establecidas mediante el sistema *taungya* donde se ha cosechado arroz y frijoles durante dos años en plantaciones de: *Cunninghamia lanceolata*; arroz, algodón y maíz con *Eucalyptus*.

Además, entre los beneficios ecosistémicos que los ST brindan, cabe mencionar que como herramienta de restauración permiten combinar las acciones de reforestación con la actividad agrícola, durante las primeras etapas de establecimiento de los árboles, lo que representa un beneficio económico y social; a la vez que se impide el establecimiento de malezas que compitan con los árboles y aportan materia orgánica al suelo de los rastros de los cultivos.



Figura 5. Sistema Taungya en una plantación joven de *Swietenia macrophylla* (caoba) intercalada con cultivo de *Eryngium foetidum* (culantro coyote, coriandro, cimarrón) entre hileras, en Tres Equis de Turrialba, Costa Rica. Foto: Ing. Rolando Camacho.



Figura 6. Sistema Taungya en una plantación joven de *Eucalyptus deglupta* (eucalipto) y *Araucaria hunsteinii* (klinki) intercalada con cultivo de *Zea mays* (maíz recién cosechado) entre hileras, en Las Delicias, Guácimo, Costa Rica. Foto: Ing. Rolando Camacho.

1.10.2 Sistemas agroforestales simultáneos

Los SAF simultáneos ocurren en un sitio donde existe una combinación simultánea y continua de un componente agrícola con un componente forestal, ya sea de árboles maderables, frutales, de uso múltiple, o de servicio. Estos SAF incluyen todo tipo de asociaciones de árboles con cultivos anuales o perennes, huertos caseros mixtos, agrobosques y sistemas silvopastoriles.

1.10.2.1 Árboles con cultivos anuales

- Cultivo en callejones (*Alley Cropping*)

El cultivo en callejones es un SAF simultáneo de árboles con cultivos anuales, que consiste en hileras de árboles, generalmente distanciados de 4 a 6 metros entre hileras x 2 metros entre árboles, intercalados con cultivos anuales entre hileras de plantación (Figura 7). Los árboles se podan antes de la siembra y las ramas se dejan en los callejones con el fin de incorporar materia orgánica al suelo y suprimir malezas.

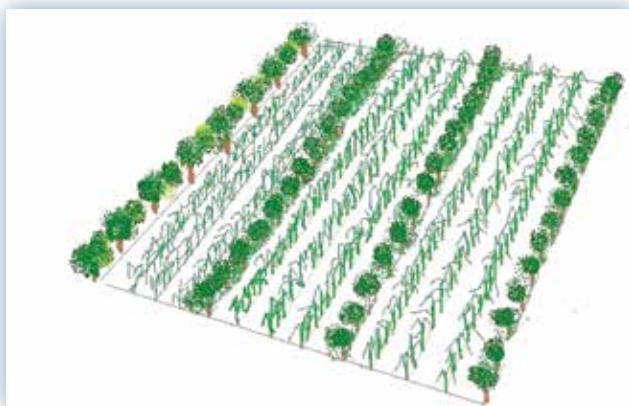


Figura 7. SAF de cultivo en callejones (*Alley cropping*) con hileras monofilares de árboles intercalados con un cultivo.

Fuente: elaboración del autor, 2015.

En los cultivos en callejones las hileras de árboles pueden tener un distanciamiento de 4 a 6 metros entre hileras y 1 a 3 metros entre árboles, de manera que se pueda hacer varios surcos de siembra del cultivo temporal.

La poda se realiza antes de la siembra del cultivo y se fraccionan las ramas con hojas que se dejan sobre el suelo para que se descompongan e incorporen al mismo para posterior utilización por el cultivo.

Debe tenerse en cuenta dejar pasar unas 10-12 semanas desde la poda hasta la siembra para permitir la mineralización del nitrógeno contenido en la biomasa de las ramas y así permitir que esté disponible para el cultivo.

En este SAF es muy conveniente que los árboles sean de especies fijadoras de nitrógeno (Fabaceae como *Erythrina* spp., *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucaena*), principalmente en suelos de baja fertilidad, donde el contenido de nitrógeno (N) es bajo. La intención principal del cultivo en callejones es el reciclaje de nutrientes mantener o incrementar el rendimiento de cultivos a través del mejoramiento del suelo, el control de las malezas y ayuda al control de la erosión.

Recordar que los mecanismos principales de ganancia de N en el suelo son: a) N aportado con las lluvias; b) N, proveniente de la fijación no simbiótica; c) N proveniente de la fijación simbiótica; d) N aportado por los fertilizantes y abonos orgánicos; y e) N proveniente del proceso de mineralización a partir de restos frescos (vegetales y animales), en este caso la poda de ramas en el SAF. Por todo lo anterior, este es un sistema de producción que se adapta bien a los suelos de baja fertilidad en áreas degradadas y a zonas secas y semiáridas, dado que favorece la restauración de la fertilidad y las condiciones físicas del suelo. Adicionalmente, los productores pueden obtener de los árboles otros productos como postes, leña, forraje, abono verde y fijación de nitrógeno atmosférico. Este último tiene importancia actual porque la acción de disminuir la fertilización nitrogenada, es una forma de reducir las emisiones de óxido nitroso a la atmósfera, de manera que se considera una forma de mitigar el cambio climático. En áreas con pendientes pronunciadas las hileras de árboles pueden establecerse en curvas de nivel como barrera viva para la conservación del agua y disminución de la erosión. Además, son una forma de conservar el suelo que no requiere de estructuras físicas de conservación.

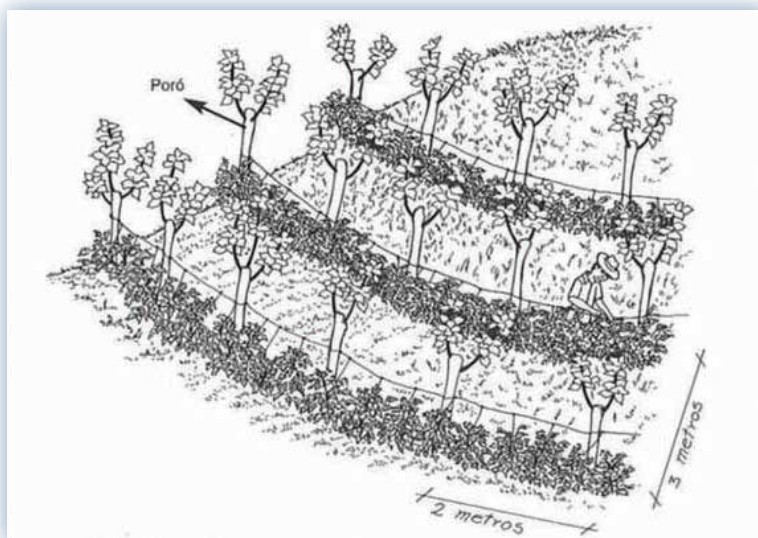


Figura 8. Producción de tomate (*Lycopersicum sculentum*) con soportes vivos de *Erythrina poeppigiana*.

Fuente: CATIE 2002. Ilustración de Rocío Jiménez.



Figura 9. SAF de cultivo en callejones (*Alley cropping*) de maíz con hileras de *Inga* spp. en Honduras. Foto: Inga Foundation, con autorización del Dr. Mike Hands.



Figura 10. SAF de cultivo en callejones (*Alley Cropping*) de maíz con hileras de *Inga* spp. en Honduras. Foto: Inga Foundation, con autorización del Dr. Mike Hands.



Figura 11. Poda en hileras de *Inga* spp. en cultivo en callejones (*Alley Cropping*) en Honduras. Foto: Inga Foundation, con autorización del Dr. Mike Hands.

- Cultivos al amparo de cortinas forestales

En esta categoría se incluye toda forma de monocultivo o policultivo agrícola de ciclo corto como: maíz, frijol, cebolla, apio, lechuga, tomate, cilantro, y otras especies hortícolas, en asociación con árboles en forma de cortinas rompevientos en zonas ventosas, cercas vivas multiestratificadas o hileras de árboles en curvas de nivel en áreas de laderas. Todas estas alternativas que integran los cultivos agrícolas con la plantación de árboles, son una forma de conservación y restauración de áreas degradadas, que contribuyen a conservar la biodiversidad y los recursos hídricos. Los cultivos bajo cubierta, cortinas forestales, plantaciones mixtas, bosques de frutales y los SAF sucesionales son algunos de estos ejemplos.



Figura 12. Cortinas rompevientos de *Cupressus lusitanica* (ciprés) asociadas a cultivos hortícolas en Ochomogo, Cartago, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.

1.10.2.2 Árboles con cultivos perennes

La asociación simultánea de árboles y cultivos perennes es una práctica frecuente en Mesoamérica. Los ejemplos más destacados son los cultivos de café y cacao bajo sombra. Los efectos benéficos de los árboles de sombra, particularmente *Fabaceae* en cafetales, fueron reconocidos y descritos a principios del siglo pasado (Cook 1901). El cacao, a diferencia del cafeto, se adapta a sitios fértiles de bajura (de 0 a 700 msnm); mientras que el café es un cultivo de zonas altas. Estos SAF con árboles para sombra son una alternativa más sostenible que los monocultivos perennes, porque dan valor agregado en términos de diversificar la producción, brindar hábitat para mayor biodiversidad, favorecer la conservación del suelo y servir de protección de los recursos hídricos. Todos estos elementos son importantes cuando se contempla la recuperación de áreas degradadas.

- Cafetales y cacaotales bajos sombra

Estos SAF combinan en forma simultánea árboles con cultivos perennes, tales como *Coffea arabica*, *Theobroma cacao*; como también es el caso de *Camellia sinensis*, *Elettaria cardamomum*, entre otros. En ellos el cultivo está intercalado con los árboles que contribuye con servicios ambientales, productos adicionales, mejoramiento del suelo, microclima propicio para el cultivo, y sirve de tutor o soporte para cultivos de enredadera como *Piper nigrum* o *Vanilla planifolia*.

Los árboles pueden ser maderables, frutales o de uso múltiple. Las especies para sombra más utilizadas han sido *Inga edulis*, *I. vera*, *Gliricidia sepium*; *Erythrina poeppigiana*, *E. fusca*, *Grevillea robusta* y *Leucaena leucocephala*, entre otras. Entre las especies forestales que mejor se adaptan se encuentran *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Dalbergia retusa*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Schizolobium parahybum*; y más recientemente, se ha introducido *Eucalyptus* spp., *Alnus acuminata*, *Terminalia amazonia* y *Gmelina arborea*, entre otras. También, ha sido común plantar frutales, principalmente *Citrus* spp., *Persea americana*, *Macadamia* spp., *Psidium guajava* y también sombra temporal de musáceas.

El café con sombra es quizás el cultivo más antiguo e importante, pues se estima que abarca más de un millón setecientas mil hectáreas en Mesoamérica, incluyendo República Dominicana, de las cuales más de 80% son SAF y la mayor parte es cultivado por agricultores/as en pequeña escala, en fincas no mayores de 5 ha (Anta Fonseca 2007, OIC 2013).

En los SAF de café con sombra es importante la **diversidad estructural**, que se aplica a la arquitectura del cafetal y a la disposición espacial de la vegetación no cafetalera (árboles de sombra, maderables, frutales leñosos, herbáceas como *Musa* spp., etc.) y las diversas capas o estratos en el SAF; y también la **diversidad florística**, que se refiere a la mezcla de especies o diversidad de los árboles de sombra.

En los SAF de árboles con cultivos perennes la distancia y entre hileras puede variar entre 6 a 12 metros, y de 6 a 8 metros, entre árboles con densidades de 100 a 280-300 árboles por hectárea.

Cuando se realiza poda, puede ser anual o bianual en función de la especie y de su capacidad de tolerar podas. Las ramas se dejan sobre el suelo para su mineralización.

En el caso de *Erythrina poeppigiana*, como sombra en cafetales, el aporte de biomasa proveniente de las podas puede alcanzar de 8 a 12 toneladas de materia seca al año, equivalentes a 170-230 kg Nha/año (Russo y Budowski 1986).

En Colombia, el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) ha realizado una extensa investigación sobre sombra en cafetales, en aspectos tales como: densidades de plantación de los árboles de sombra, regulación del sombrío y tipos de poda. Estos estudios concluyeron que los cafetales cultivados bajo excesivo sombrío no responden a la aplicación de fertilizantes, y sugieren que la respuesta a la fertilización e incrementos en la producción se pueden favorecer con un manejo de la sombra, a través de la poda de los árboles que permitan la circulación del aire y una mayor penetración de la luz (Farfán 2014, Mestre y Ospina 1994, Farfán y Baute 2010).

El componente arbóreo reduce la temperatura ambiental y la del suelo, se reduce la evaporación en la superficie y se incrementa la humedad relativa del ambiente. Bajo sombrío la temperatura nocturna del cafetal es más alta, y en el día es menor que en cafetales a plena exposición solar; de manera que se regula la intensidad lumínica y la temperatura foliar, creándose condiciones apropiadas para la fotosíntesis y crecimiento del cafeto (Rena y Maestri 1987).

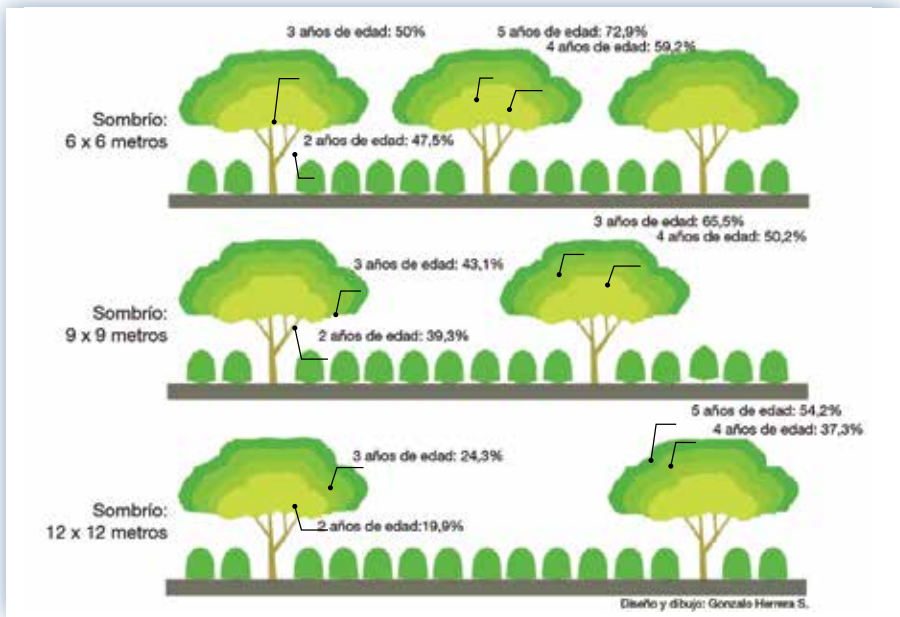


Figura 13. Interceptación de radiación fotosintética activa (RFA), en tres densidades de plantación de *Inga edulis* en Pueblo Bello, Colombia. Los distintos tonos de verde representan el crecimiento anual del dosel de los árboles de sombrío.

Fuente: Farfán y Mestre 2005.

Las condiciones de sombra óptimas (para el caso colombiano) se pueden obtener con diferentes copas de árboles, por ejemplo, solo con *Inga edulis* o con un dosel estratificado de *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora* (SAF común en otros países mesoamericanos). Para obtener el patrón de sombra deseado se puede recurrir a la poda. Algunas especies, como *Erythrina poeppigiana*, se pueden podar de dos a tres veces por año, mientras que

Inga edulis solo se poda una vez. La selección de la especie por la forma de su copa, la densidad del follaje y fenología, entre otras; y su manejo (espaciamiento inicial, arreglo de plantación y raleos) son aspectos trascendentales para mantener la sombra en cultivos perennes como el café, dentro de niveles aceptables (Beer et ál. 2003). Además de árboles maderables o de servicio, puede haber palmas como *Bactris gasipaes*, *Cocus nucifera* y *Elaeis guineensis*. Otros cultivos perennes como *Hevea brasiliensis*; o frutales como *Citrus* spp., *Artocarpus communis*, *Mangifera indica* o *Anacardium occidentale*.

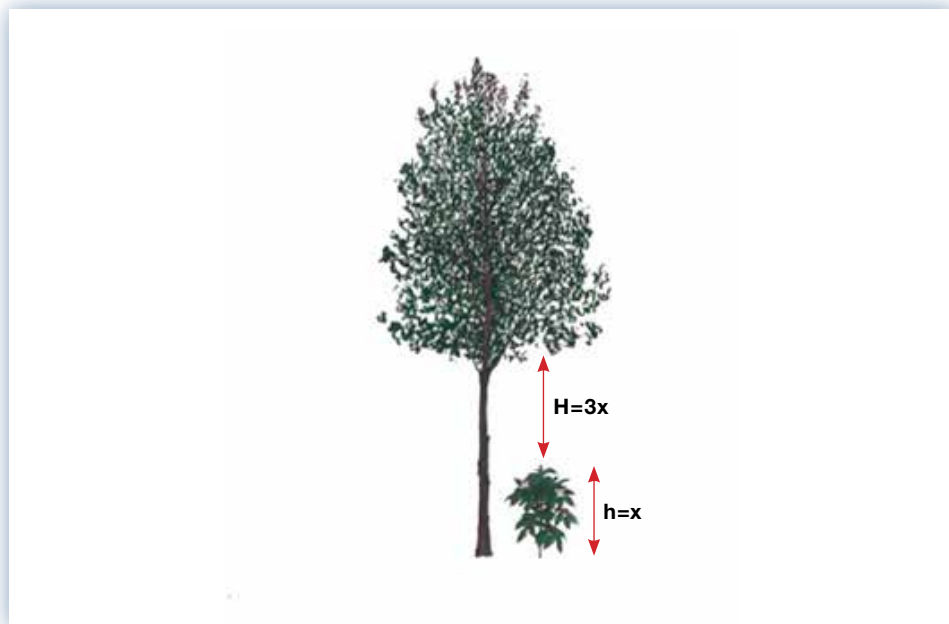


Figura 14. Árbol bien formado, para mantener la sombra lejos del cultivo del café.

Fuente: Farfán (2014).

En algunos casos se utiliza sombra temporal de *Musa* spp. y se establece un SAF de café-banano-árboles o cacao-plátano-árboles. Además de *Musa* spp., otros cultivos de sombra temporal que pueden ser usados en SAF de café y cacao, son: *Ricinus comunis*, *Manihot esculenta*, *Cajanus cajan* y *Carica papaya*.

En el caso de los cacaotales, la sombra debe mantenerse baja y abierta para que su manejo sea sencillo y no se den condiciones excesivas que propicien humedad favorable para el desarrollo de enfermedades. La sombra disminuye la actividad metabólica de la planta y con esto el consumo de nutrimentos; por lo que existe una relación inversa entre la producción de cacaotales sin sombra y la longevidad de los árboles (Somarriba 1988, 1994, 2013). Somarriba (2013) también reseñó una tipología de doseles en cacao, que va desde el cultivo de cacao sin sombra, hasta los agrobosques de cacao, que es extensible a SAF con café.

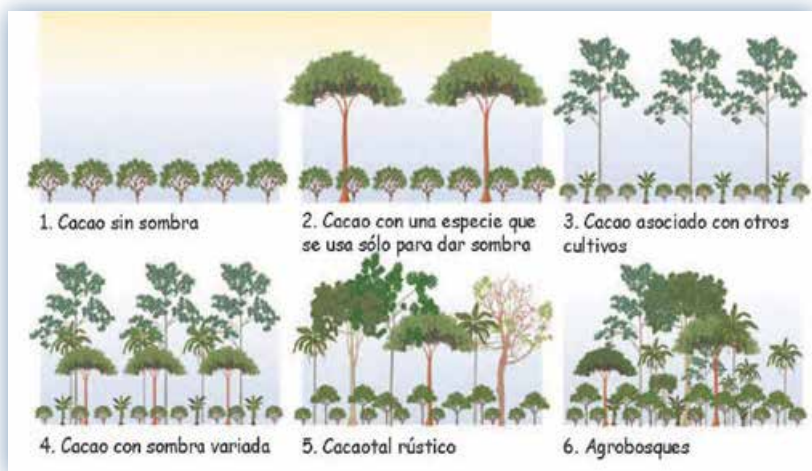


Figura 15. Tipología de doseles en cacao y café.

Fuente: Somarriba (2013).

Un indicador valioso en los SAF es el Índice de Área Foliar (IAF-LAI, por su sigla en inglés) que se define como la relación existente entre el área foliar del dosel y el área ocupada por el SAF. El IAF es una variable útil para modelar muchos procesos fisiológicos, como la evapotranspiración, la capacidad fotosintética o la captura de carbono. El IAF está asociado con los principales factores de producción vegetal, como la fotosíntesis neta (FN), la eficiencia en el uso del agua, la eficiencia en el uso del nitrógeno y la regulación de la temperatura y la humedad relativa dentro del dosel (Barrios y Cobo 2004). A medida que aumenta el IAF, aumenta la FN, pero cuando es mayor de tres, la FN se estabiliza. Los bosques naturales primarios tienen valores de IAF entre seis y siete (Vásquez et ál. 2014).

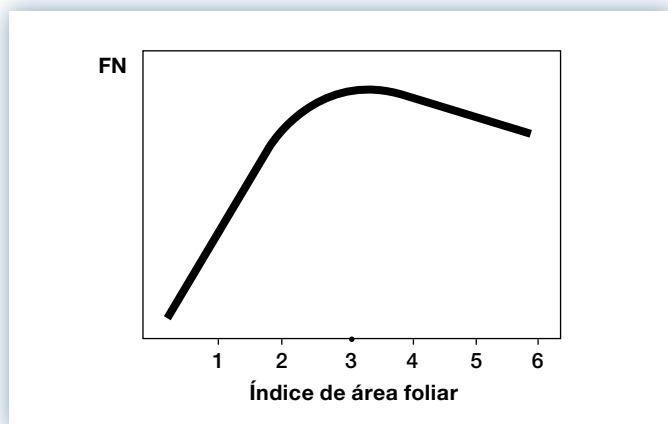


Figura 16. La fotosíntesis neta (FN) del dosel aumenta con el índice de área foliar (IAF), pero alcanza un techo cuando IAF > 3.

Fuente: Russo 2013.

Este índice, junto con el tamaño del árbol y la forma de la copa, son los más importantes elementos para el estudio de los bosques y plantaciones forestales (Shively et ál. 2004, Nascimento et ál. 2007). Según Zhang et ál. (2005) las especies forestales adaptadas a condiciones de altura tienen mayor capacidad fotosintética y mayores contenidos de carbono y nitrógeno que las plantas de selvas y sabanas tropicales.

Además, entre los servicios ecosistémicos que brindan los SAF de cafetales y cacaotales, cabe mencionar sus aportes a la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de la fertilidad del suelo y su papel como sumideros de dióxido carbono atmosférico que contribuye a la mitigación del cambio climático.

En cuanto a biodiversidad, en ambos casos, proveen hábitats para avifauna e insectos y favorecen el control biológico, dado que el incremento en la diversidad de aves e insectos permite aumentar los servicios relacionados con la polinización, la dispersión de semillas y el control biológico de insectos plaga.

Cuando la mayoría de las especies del dosel de sombra son nativas, como *Inga* spp., sus frutos son consumidos por una gran variedad de fauna nativa, mientras que las maderables, como *Cordia alliodora* proveen madera de buena calidad en poco tiempo. Por otra parte, la función de los cafetales y los cacaotales con sombra es análoga a la de un bosque, aunque su estructura y composición florística sean diferentes. Como herramienta de restauración, permiten combinar los servicios de los árboles y los cultivos perennes en el mejoramiento del suelo con el aporte de materia orgánica de la poda de ramas y el mantillo de los árboles y el cultivo del sistema (Läderach et ál. 2013).



Figura 17. Sistema agroforestal de cafetales con sombra de *Erythrina fusca* y *Erythrina poeppigiana* en San Marcos de Tarrazú, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.



Figura 18. SAF de café con sombra de *Eucalyptus* spp. en Juan Viñas, Costa Rica. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 19. SAF de banano orgánico con hileras de *Cordia alliodora*, *Theobroma cacao* y *Erythrina berteroana* en su etapa inicial, en la Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.



Figura 20. SAF de banano orgánico con hileras de *Cordia alliodora*, *Erythrina berteroana* y *Flemingia* a los siete años en la Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica. Foto: Roque Vaquero.



Figura 21. SAF de café con árboles de sombra de *Erythrina poeppigiana*, después de una poda de “descumbré” total, en Tres Ríos, Cartago, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.



Figura 22. Árboles de *Erythrina poeppigiana* con poda total de ramas (izquierda) y estacas producto de poda de ramas (derecha), en Tres Ríos, Cartago, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.



Figura 23. SAF de *Rubus glaucus* (mora) en hileras con *Erythrina poeppigiana*, en Coronado, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.

• Agrobosques

El concepto de agrobosques, a pesar de ser sistemas tradicionales, han sido incorporado más recientemente a las definiciones y clasificaciones de SAF. Los agrobosques son áreas con predominio de árboles y arbustos, o comunidades que se asemejan a bosques, donde existen parcelas o claros con prácticas agrícolas junto con estructuras típicas de los bosques naturales por su composición florística y su estratificación múltiple. Un ejemplo es el llamado sistema agroforestal *Quesungual* (SAQ), o *Kuxur Rum*, modalidad agroforestal que fue practicada ancestralmente por las culturas mayas y todavía se realiza en algunas regiones. Se reporta la práctica de este sistema en países como Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua (CATIE/CESTA 2006). Básicamente consiste en podar árboles seleccionados en un área de bosque natural (generalmente secundario) hasta la mitad del tronco, sin dañar las raíces, y sembrar maíz en los claros o abras con mayor radiación solar. Cabe señalar que en el caso de Honduras, después del huracán Mitch, en las zonas donde se practicaba el SAQ, no se observaron daños tan intensos.

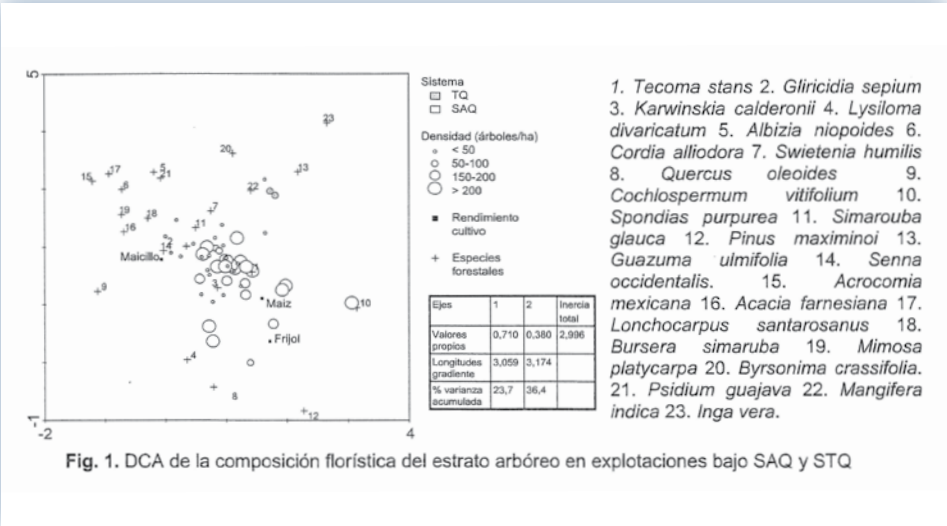


Figura 24. Análisis de correspondencia corregido (DCA) de la composición florística del estrato arbóreo de un SAQ y un sistema de tala y quema (STQ).

Fuente: Mendoza et ál. 2014a.

Recientemente se realizaron estudios en el sudeste de Honduras, en siete comunidades de la región de San Lucas (entre 13°41' y 13°42' lat. N y 86° 55' y 83°56' long. O), sobre el potencial del SAQ en tierras de ladera con pendientes mayores al 12% (aproximadamente 80% de la superficie del país); donde se han practicado sistemas agrícolas migratorios de tala y quema, y se concluyó que el SAQ reduce la vulnerabilidad al cambio climático de pequeños agricultores de subsistencia, y que tiene gran potencial para mejorar los medios de vida y ayudar a la adaptación al cambio climático en laderas tropicales. Se trata de

una buena opción para mitigar gases de efecto invernadero, y a su vez, desempeña otros servicios para un mejor aprovechamiento agroganadero sostenible (Mendoza et ál. 2014a, 2014b). Otros ejemplos son los agrobosques de cacao en el área de la cuenca binacional del río Sixaola entre Costa Rica y Panamá (Figura 26).



Figura 25. Agrobosque de cacao en rehabilitación con sombra de múltiples especies arbóreas, Vista Hermosa, Changuinola, Panamá. Foto: Ricardo Russo.



Figura 26. Huertos caseros mixtos en Talamanca, Costa Rica. Foto: Andrés Sanchún.

1.10.3 Sistemas lineales o en alineación

Los sistemas lineales o en alineación son plantaciones de árboles en hileras de uno, dos o más filas, tales como cercas vivas, setos vivos, barreras vivas, líneas de árboles y arbustos (maderables, frutales, de uso múltiple) y cortinas rompevientos, generalmente asociadas a un cultivo agrícola o pastizales. Son útiles especialmente en fincas pequeñas porque ofrecen muchas oportunidades para la producción de bienes y servicios de interés para el productor. Es una de las tecnologías agroforestales comúnmente más promovidas en los programas de extensión y desarrollo forestal y agroforestal en Mesoamérica (Current et ál. 1995, Somarriba 1998).

1.10.3.1 Cercas vivas

Una cerca viva se compone de postes vivos en una hilera de árboles o arbustos que delimitan una propiedad o puede dividirla o parcelarla internamente. En función de la especie utilizada puede producir leña, madera, forraje, flores para miel, frutos, postes, entre otros. Son muy frecuentes en los países de Mesoamérica y una de sus funciones más importante es la delimitación de fincas.

Preparación de postes para cerca: la mayoría de los árboles de cercas vivas en Costa Rica se propagan mediante la plantación de estacas grandes (de 1,5 a 2,5 m de longitud y 4-12 cm de diámetro en la base, dependiendo de la finalidad de la cerca y las preferencias de los agricultores. Las estacas se obtienen de las ramas que crecen en los postes de las cercas vivas que se podan después de uno o dos años de crecimiento. El número de brotes por cada árbol establecido en una cerca viva varía según la edad, el vigor y el período transcurrido desde la última poda. Un poste puede producir de 2 a 8 estacas grandes cada dos años.

Las especies arbóreas más empleadas son *Mangifera indica*, *Bursera simarouba*, *Spondias* spp., *Gliricidia sepium* y *Ficus isophlebia*, *Gliricidia sepium*, *Ficus isophlebia*, *Pochote quinita*; *Bursera simarouba*, *Delonix regia*, *Mangifera indica*, *Spondias* spp., y *Simaruba glauca* (aceituno), son otras especies utilizadas.

La mayoría de los árboles de cercas vivas en Costa Rica se propagan mediante la plantación de estacas grandes (de 1,5 a 2,5 m de longitud y 4-12 cm de diámetro en la base, dependiendo de la finalidad de la cerca y las preferencias de los agricultores.

Las estacas se obtienen de las ramas que crecen en los postes de las cercas vivas luego de su poda y de uno o dos años de crecimiento. El número de brotes por cada árbol establecido en una cerca viva varía según la edad, el vigor y el período transcurrido, desde la última poda. Un poste puede producir de 2 a 8 estacas grandes cada dos años.

Preparación
de postes para cerca

- Tipos de cercas vivas

Las CV pueden ser: **a) Simples:** con una sola especie, presentan un solo estrato arbustivo; o **b) Complejas:** con varias especies, presentan dos o más estratos de vegetación diferenciables, han demostrado ser una herramienta de conservación de la biodiversidad (Harvey 2010).

También pueden agruparse en función de su objetivo secundario en: **a) Forrajeras:** cuando la producción de hojas, ramas y flores son usadas para la alimentación animal, en este caso se utilizan especies leñosas forrajeras como: madero *Gliricidia sepium* o *Erythrina* spp., entre otras. Se las mantiene a una altura baja de 2 a 4 metros con podas frecuentes (cada tres a cuatro meses); **b) Producción de leña:** cuando las ramas y troncos son usadas como combustibles por especies de alto poder calorífico como: *Inga* spp., *Gliricidia sepium*, *Pentaclethra macroloba*, entre otras; se las mantiene de 5 a 7 metros y con raleos periódicos de 3 a 7 años; **c) Maderables:** cuando junto a los postes vivos de la cerca se planta una hilera árboles maderables, a los que no se les fija grapas con alambre de púas. Pueden usarse especies heliófitas durables como: *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Vochysia guatemalensis*, *Cedrela* spp. y *Cordia alliodora*, entre otras. El raleo y aprovechamiento final de la madera se realizan según las recomendaciones para la especie utilizada; y **d) Multipropósito:** cuando están conformadas por especies leñosas de uso múltiple (Ospina 2003, Somarriba 1990, 1992, 2013, Somarriba et ál. 2012, 2013).

Es deseable que las especies reúnan características que favorezcan su establecimiento, mantenimiento y utilización posterior. Asimismo que sean compatibles con los cultivos con los que van a ser asociadas, así como facilidades de manejo periódico. En los casos donde las cercas vivas se usen como tapavientos, es necesario buscar especies arbóreas y arbustivas que se complementen en su estructura para formar una barrera más efectiva.

Budowski (1981) comparó las ventajas y desventajas entre cercas vivas y cercas con postes muertos de madera (Cuadro 4).

Características deseables en las especies para utilizar en cercas vivas

- Crecimiento rápido.
- Propagación vegetativa.
- Fijación de nitrógeno del suelo.
- Alta producción de biomasa, leña y postes.
- Tolerantes a podas severas y moderadas.
- Alta capacidad de rebrote postpoda.
- Compatibilidad con cultivos y/o pastos.
- Uso múltiple y alto valor.

Cuadro 4. Comparación entre cercas vivas y cercas con postes muertos de madera (tratados con preservantes o naturalmente resistentes). Se supone que ambos son usados para evitar el paso principalmente de animales y anclaje para alambre de púas

Factor	Cerca viva	Cerca muerta (poste madera)
Escogencia de la especie	Según condiciones ecológicas	Según disponibilidad
Costo de la cerca	Relativamente bajo o gratuito	Relativamente alto
Manejo del poste antes de colocar	Requiere cuidado en preparación, transporte y almacenamiento	No requiere cuidado
Colocación en el suelo	Requiere cuidado, suelos aptos	Fácil, no importa el suelo
Clavada del alambre	Cuidadosa, según la especie	Fácil
Mantenimiento inicial	Necesaria, especialmente protección contra animales	A veces protección contra incendios
Sobrevivencia	Pueden haber pérdidas	No hay problemas
Cuándo colocar el alambre	Usualmente cuando está arraigado	inmediato
Aumento de densidad a lo largo de la cerca	Relativamente fácil y económico	Fácil, pero caro
Durabilidad	Generalmente muy larga	Variable, limitada según especie, tratamiento y condiciones ecológicas
Producción de materia orgánica	Posible, varía según especie	No hay
Producción de N por fijación microbiana	Posible, según especie	No hay
Efecto en el suelo	Beneficioso, especialmente al podar ramas y descomponerse Raíces. Actúa como barrera (erosión)	No hay
Competencia por agua, nutrientes y luz con cultivos vecinos	Existe, pero varía según sistema	No existe
Protección cultivo (y/o animales) contra viento	Existe, según especie, altura, densidad y componentes vecinos	No
Precipitación "horizontal"	Posible	No hay
Efectos tóxicos	Posible según especie (incluye alelopatía)	No (excepto al usar preservantes tóxicos)
Plagas	Puede albergarlas	Sin efecto (quizás comején)
Fauna	Ofrece abrigo y alimento (eje.: abejas, aves)	Poco efecto
Productos adicionales económicos	Frecuentes y diversos (alimentos humanos, forrajes, productos medicinales, incluyendo leña y más postes vivos)	No
Posibilidad de quitar la cerca	Difícil y costoso (laborioso)	Relativamente fácil
Mano de obra	Necesaria, en forma periódica, requiere habilidades especiales	Habilidades solo para enterrar poste, clavar y reponer alambre
Adaptación al pequeño productor	Buena, es práctica común	Depende del ingreso
Aspecto estético	Existe, pero varía según manejo y quién lo mira	Poca influencia

Fuente: modificado de Budowski 1981.



Figura 27. Cerca viva multiespecífica en Bonanza, Nicaragua. Foto: R. Russo.



Figura 28. Cerca viva monoespecífica de *Erythrina berteroana* en Horquetas de Sarapiquí, Costa Rica. Foto: Karen Aráuz.

1.10.3.2 Setos vivos

Un seto vivo es una plantación lineal de arbustos o árboles en una o más hileras, establecidos a distancias cortas (30-50 cm) de manera que al crecer sus ramas y hojas se cierran y forman una cerca o barrera. Generalmente se disponen en los límites de una parcela o son linderos de una propiedad. No requieren de fijación de alambre al poste y la principal diferencia con una cerca viva es la distancia entre postes y la no fijación de alambre. Se incluyen entre los SAF cuando están asociados a parcelas de cultivos agrícolas (Figura 30).



Figura 29. Seto vivo lindero de *Hibiscus rosa-sinensis* en Guácimo, Costa Rica.
Foto: Raúl Botero.

1.10.3.3 Cortinas rompevientos

Una cortina rompevientos (también llamada protectora o forestal, *windbreaks* en inglés, *brise vents* en francés) es una plantación forestal, que forma una barrera, para mitigar los efectos negativos de los vientos³ y regular las condiciones de microclima. Consiste en hileras múltiples de árboles establecidas en forma perpendicular a la dirección de los vientos dominantes. Se incluyen en los SAF cuando están asociadas a un sistema de producción agrícola o pecuario. Los árboles se disponen en hileras a distanciamientos y configuraciones predeterminadas en función del tipo y grado que se desee. La protección depende de la altura de las especies que la componen y de la permeabilidad de su dosel. Se acepta en general que una cortina rompevientos brinda servicios y beneficios en los establecimientos agropecuarios. Además, una cortina bien manejada produce también madera.

El diseño de las cortinas está dado por su ubicación dentro de los predios, la orientación, la distancia entre cortinas y la distancia entre plantas. Para obtener el máximo provecho de las cortinas, se debe identificar, antes de establecerla, el sector que se desea proteger y planificar la disposición y la longitud que tendrá la cortina. Varios aspectos deben considerarse para el diseño de una cortina, entre ellos se destacan: a) Orientación; b) Distanciamiento entre árboles y entre hileras de árboles; c) Densidad; y d) Altura de los árboles. La altura de los árboles de la cortina es el factor más importante por considerar en su diseño, dado que determina el área que protege. La distancia máxima de protección de una cortina varía entre 15 y 20 veces la altura de los árboles. Es decir, si una cortina tiene 10 m de altura, protegerá hasta una distancia de 150-200 m.

3 La velocidad del viento se torna perjudicial cuando es mayor a los 2 m/seg.
<http://teca.fao.org/read/3646#sthash.6GqDLE0u.dpuf>

Una cortina puede ser: **a) simple:** cuando está formada de dos hileras de árboles plantados a 3 x 3 m, en sistema cruzado o trabado; o **b) compuesta:** cuando están constituidas por tres o más hileras en forma de tres estratos –alto, medio y bajo– con árboles de diferente magnitud o porte, plantados generalmente a una distancia de 3 x 3 m; la primera hilera (estrato alto) queda hacia el cultivo; en la segunda hilera van especies de porte medio (estrato medio), con árboles de altura media; y la última hilera (estrato bajo) queda al exterior de la parcela de cultivo, especies de porte arbustivo. Por ejemplo, en León, Nicaragua, se usan cortinas de tres estratos y cinco líneas de *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala* y *Tecoma stans* para proteger el suelo durante la época seca en plantaciones de *Gossypium hirsutum* (Mendieta y Rocha 2007). En Costa Rica, son conocidos los casos de cortinas de *Cupressus lusitánica*, proveniente de México, en zonas de altura del Valle Central en las provincias de Heredia y Cartago.

Mendieta y Rocha (2007) resumen el efecto del viento excesivo sobre los cultivos en la Figura 31. Enfatizan que entre las características sobresalientes de las cortinas rompevientos, junto con las cercas vivas, demarcan parcelas de cultivos anuales o perennes, o sirven como límite de fincas; controlan la contaminación sólidos transportados por el viento; tienen efectos positivos en los rendimientos de los cultivos, debido a la reducción de la pérdida de humedad del suelo y mejoras en las condiciones del sitio; generan productos adicionales para la venta y el consumo (postes, leña, frutos, follaje, goma, madera); protegen contra el deterioro de edificaciones e infraestructura (partículas de materia y suelo transportadas por el viento); y en la salud humana, reducen la incidencia de enfermedades bronquiales. Asimismo, sirven como barrera para detener la erosión; disminuir la pérdida de humedad del suelo y generar ingresos económicos por la producción de madera cada cierto período de tiempo.

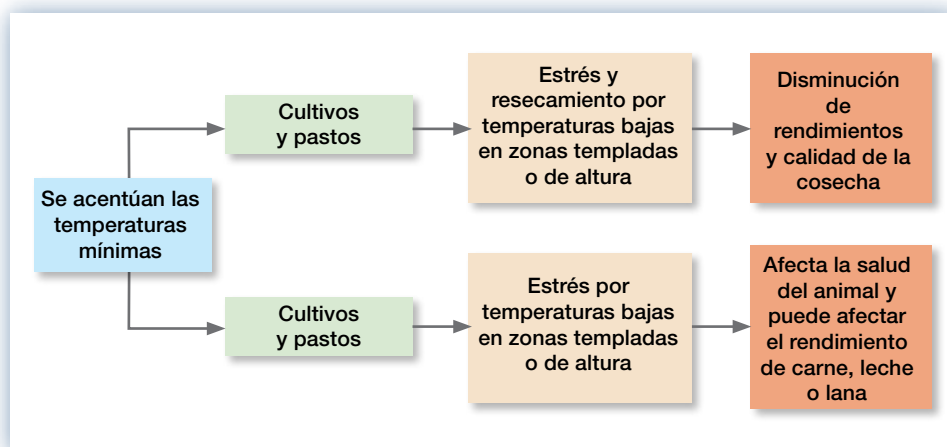


Figura 30. Efectos del viento excesivo sobre componentes de parcelas agropecuarias.

Fuente: Mendieta y Rocha (2007).

La altura de la barrera constituye una unidad práctica de medida aplicada a la distancia donde el terreno queda protegido. Así la distancia de protección es de 10, 15 o hasta 20 veces la altura. FAO (1961) reporta que los porcentajes de reducción de la velocidad del viento son de 60 a 80% en la parte más cercana a esta, y de 20% a distancias 20 veces su altura; La reducción máxima de la velocidad del viento se obtiene en el área de protección equivalente a cuatro veces la altura de la cortina.

Algunas consideraciones sobre el diseño de cortinas rompevientos (Golberg et ál. 2003) son: 1) la extensión horizontal de la protección es generalmente proporcional a la altura de la cortina; 2) las máximas reducciones del viento están relacionadas con la porosidad ($\emptyset$). La porosidad constituye el descriptor más conocido de la estructura interna de las cortinas y se define como: *la relación existente entre el área perforada (los claros de la barrera que permiten el paso del viento) y el área total*. Desde el punto de vista de la porosidad las cortinas se pueden dividir en **impermeables**, aquellas cuya $\emptyset$ está en un rango de 0-25% y **permeables**, cuando $\emptyset$ va del 45 al 55%. Para obtener reducciones significativas de la velocidad del viento (del orden del 10-30%) y proteger largas distancias, son menos efectivas las barreras de baja porosidad (impermeables o muy densas) que las más porosas (Heisler y Dewalle 1988); 3) barreras naturales de un ancho menor o igual a su altura (H) producen mayor reducción del viento y un área de protección más grande respecto de las muy anchas en relación con su H; 4) la eficiencia de la barrera está en relación con el ángulo de incidencia del viento, el desvío de la dirección del viento respecto con la perpendicular origina una combinación de respuestas; 5) la zona protegida por una barrera de porosidad del 15 al 35% y una incidencia del viento perpendicular a esta puede estimarse que alcanza 10 veces la altura de la cortina.

Manejo de la Cortina: a) después de establecida es necesario hacer replante de pérdidas que se hayan observado durante el primer mes, es preferible el 100% de sobrevivencia para que no haya huecos a lo largo de la cortina; b) la plantación debe estar libre de malezas, lo

Las cortinas deben reunir las siguientes características, con el objeto de lograr una buena reducción de la velocidad del viento:

- Permeabilidad
- Perfil
- Ancho
- Altura
- Orientación
- Longitud y continuidad

Características básicas
de una cortina rompevientos

que se logra con dos o tres chapias a lo ancho de la franja o bien realizando una ronda de un metro de ancho a cada árbol, durante los tres primeros años de edad; c) mantener una línea cortafuego para prevenir la ocurrencia de incendios; d) en las cortinas rompevientos no es importante hacer podas, a menos que haya árboles maderables de alto valor económico o frutales; e) no se deben hacer raleos o cortes selectivos para que la cortina no pierda su función protectora, a menos que se trate de una cortina muy densa; f) cuando se corta una hilera de árboles conviene seleccionar los mejores rebrotes; g) si se hace aprovechamiento forestal, realizar un plan de corta y manejo de los rebrotes, haciendo las talas por hilera en forma alternada y dando el tiempo suficiente al crecimiento de los rebrotes.

Cuadro 5. Ventajas y desventajas de las cortinas rompevientos, según las opiniones de 33 productores en León, Nicaragua 2014.

Ventajas	%	Desventajas de la producción	%
Producción de leña y madera y otros	41	Reducción en la productividad del cultivo por el efecto de competencia por nutrientes	66
Recuperación del suelo	21	Reducción del área de siembra por su establecimiento	19
Disminución de la erosión eólica	20	Pérdida de humedad por el alto consumo de agua	9
Ingreso económico a las familias de los productores	6	Refugio para algunas plagas	3
Protección de daños mecánicos a los cultivos	3	Dificulta la preparación mecánica del suelo para la siembra	3
Sombra al ganado	3		
Mejoramiento del ambiente y contribuye al aumento de la diversidad	3		
Uso medicinal para los productores y alimenticio para algunos animales	3		



Figura 31. Paisaje agroforestal de cortinas rompevientos asociadas a cultivos hortícolas y pastizales, Cartago, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.



Figura 32. Cortinas rompevientos de *Cupressus lusitánica* (ciprés) asociadas a cultivos hortícolas en Ochomogo, Cartago, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.

Fuente: Aguirre et ál. 2001.

1.11 Atributos y características deseables de los sistemas agroforestales

Existen atributos y características deseables de los sistemas agroforestales en diferentes aspectos:

- a) En cuanto a la selección de la especie leñosa, tener en cuenta que sea de fácil establecimiento y de crecimiento rápido.
- b) En lo referente a la arquitectura, fenología y compatibilidad de la especie leñosa con los cultivos asociados, es deseable que hagan poca competencia por agua y nutrientes; que tengan una copa abierta y angosta con hojas pequeñas; que tengan un sistema radicular fuerte y en lo posible profundo; sin efectos alelopáticos; con ramas y tallos no quebradizos y que no hospeden plagas ni enfermedades.
- c) En lo relativo al manejo y la fisiología del componente leñoso, es deseable que: toleren exposición plena al sol; tengan autopoda de ramas; toleren podas frecuentes; rebroten fácilmente; sean fáciles de manejar (sin espinas ni látex urticante); y que en lo posible fijen nitrógeno.
- d) En cuanto a funciones ecológicas, son atributos deseables que tengan biodiversidad funcional y fomenten el control biológico; provean hábitats para avifauna y otros animales

no daños; fomenten la conservación y fertilidad del suelo; y mantengan el follaje en la estación seca.

El CATIE (2001) resumió en tres grupos los atributos que los agricultores(as) esperan de un SAF: a) productividad; b) sostenibilidad; y c) adoptabilidad. En el Cuadro 6 se resumen dichos atributos y sus características.

Cuadro 6. Atributos y características deseables de los sistemas agroforestales

Atributos	Características deseables de los Sistemas Agroforestales
Productividad	El sistema produce bienes, mercaderías y servicios requeridos por los productores
Sostenibilidad	Mantiene o aumenta la productividad en el tiempo: producir conservando y conservar produciendo.
Adoptabilidad	Es aceptado, aun bajo las limitaciones socioeconómicas y biofísicas imperantes en el medio.

Fuente: modificado de CATIE (2001).

1.12 Importancia de las buenas prácticas agrícolas en los sistemas agroforestales

Las buenas prácticas agrícolas (BPA) consisten en la aplicación del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimenticios y no alimenticios, inocuos y saludables, a la vez que se procura la viabilidad ambiental, económica y la estabilidad social (FAO).⁴ Las BPA fueron presentadas por primera vez en 2003 al Comité de Agricultura (COAG) de la FAO. Por lo tanto, las BPA comprometen a los agricultores a hacer las cosas bien y a dar garantías de ello.

Si bien, las BPA tuvieron como fin obtener alimentos y productos agrícolas alimenticios y no alimenticios inocuos y saludables, ahora adquieren un valor agregado cuando se asocian a cultivos realizados en un SAF como medio para reducir las emisiones de los sistemas de producción.

Las BPA no son obligatorias, pero son necesarias para exigencias de los compradores y consumidores. Cuando se practican, brindan muchas ventajas para todas las personas y factores que forman parte de la agrocadena: el productor, el comprador, el consumidor, el ambiente y la economía.

Para implementar las BPA se debe considerar el manejo adecuado de diferentes elementos del sistema productivo de acuerdo con sus componentes y a las condiciones biofísicas locales, tales como: suelo, clima, vegetación, altitud, topografía, ubicación, entre otros.

4 <http://www.fao.org/docrep/MEETING/006/Y8704S.HTM>

Suelo: de acuerdo con los tipos de suelo dependerá la herramienta y las prácticas que se utilicen, el objetivo debe ser mantener y proteger el suelo vivo con materia orgánica adecuada y microorganismos benéficos, entre otras prácticas:

- No se debe pulverizar utilizando en forma permanente herramientas que destruyan la estructura del suelo, por ejemplo con motocultivadores.
- Se deben utilizar herramientas de bajo impacto en el terreno. Como por ejemplo, el uso de cincel o rastras que no profundizan el suelo ni revierten el pan de tierra (como sí lo hace el arado de reja y vertedera).
- Dejar el suelo en barbecho (arar el suelo después de la cosecha) para oxigenar la tierra y controlar la erosión.
- Rastrear y nivelar el terreno y formar camas o surcos para un buen sistema de riego y drenaje para evitar encharcamientos e inundaciones.
- Tener en cuenta las características físico-químicas y orgánicas que tiene el suelo.

1. Selección del lote de siembra y de la semilla.
2. El manejo del suelo y su fertilidad.
3. El manejo y la aplicación segura de plaguicidas.
4. El diagnóstico y el manejo de las enfermedades.

La producción se divide en cuatro fases:

- Analizar los problemas que el suelo puede presentar, como por ejemplo: Físicos: suelos muy arcillosos o arenosos; Químicos: suelo con alta salinidad, acidez o alcalinidad; y Biológicos: suelos con escaso porcentaje de materia orgánica, o presencia de patógenos. Para ello, se debe elaborar un plan de mejoras y de corrección.

Drenaje y erosión: los suelos con drenaje adecuado evitarán la creación de microclimas que promuevan la presencia de patógenos en los cultivos. Por lo que se recomienda:

- Controlar las pendientes del terreno y los canales de riego y drenaje existentes, si los hubiese, para evitar posibles fuentes de erosión, tanto hídricas (por escorrentías) como eólicas (cárcavas).
- Para evitar la erosión, el terreno debe estar, en la medida de lo posible, cubierto con cultivo o con restos vegetales, intercalando vegetales, implantando árboles y arbustos como cortinas y trata que el suelo no quede “desnudo” para evitar la erosión.
- La erosión es un fenómeno irreversible que “se lleva” el suelo, pierde calidad, dificulta y encarece las cosechas.

Además, las BPA se enmarcan en los 16 principios generales de la Carta de la Tierra, promovida en el entorno de las Naciones Unidas y de sus organizaciones a partir del año 2000 (La Carta de la Tierra 2000), porque aprovechan los conocimientos regionales, locales y ancestrales; respetan la naturaleza y la preservación de los recursos naturales; limitan el acceso y utilización de elementos contaminantes; utilización responsable de productos fitosanitarios (biológicos y químicos); y regulación de problemas sanitarios mediante manejo integrado de plagas que incluyan factores naturales de control (enemigos naturales, rotaciones y asociaciones de cultivos).

El séptimo **principio general** dice: *...Adoptar patrones de producción, consumo y reproducción que salvaguarden las capacidades regenerativas de la Tierra, los derechos humanos y el bienestar comunitario.*

Mientras que los **principios de detalle** son:

- a. Reducir, reutilizar y reciclar los materiales usados en los sistemas de producción y consumo. Asegurar que los desechos residuales puedan ser asimilados por los sistemas ecológicos.
- b. Actuar con moderación y eficiencia al utilizar energía y tratar de depender cada vez más los recursos de energía renovables, como la solar y eólica.
- c. Promover el desarrollo, la adopción y la transferencia equitativa de tecnologías ambientalmente sanas.
- d. Internalizar los costos ambientales y sociales totales de los bienes y servicios en su precio de venta y posibilitar que los consumidores puedan identificar los productos que cumplen con las más altas normas sociales y ambientales.
- e. Asegurar el acceso universal al cuidado de la salud que fomente la salud reproductiva y la reproducción responsable.
- f. Adoptar formas de vida que pongan énfasis en la calidad de vida y en la suficiencia material en un mundo finito.

Por último, para trabajar utilizando las BPA en los SAF se debe tener en cuenta entre otras, las siguientes actividades:

- Selección de sitio seguro para la producción.
- Utilizar semillas con identidad y de calidad.
- Preparación conveniente del terreno.
- Manejo de plagas y enfermedades en forma responsable.
- Riego con agua segura y su utilización racional.
- Cosechar respetando normas higiénicas.
- Acondicionamiento y transporte adecuado e higiénico de los productos.

1.13 Potencial mitigador de distintas BPA

Más del 18% de las emisiones de GEI son atribuibles a la deforestación, los cambios de uso del suelo, los incendios forestales y el empleo de políticas y técnicas agrícolas inadecuadas. De manera que, fomentar políticas agrícolas y forestales que contemplen prácticas que promuevan el carácter de sumidero de carbono como los SAF, tiene potencial de mitigación del CC. Este potencial de mitigación de los SAF se potencializa cuando se utilizan las BPA. Smith et ál. (2008) hacen un resumen de las acciones o medidas propuestas para mitigar las emisiones de GEI (Cuadro 7).

Cuadro 7. Medidas propuestas para mitigar las emisiones de GEI de los ecosistemas agrícolas, sus efectos aparentes sobre la reducción de las emisiones de gases individuales (efecto de mitigación) y una estimación de la confianza científica de que la práctica propuesta puede reducir las emisiones netas globales

Acción o medida	Ejemplos	Efectos de mitigación ^a			Mitigación neta/b	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Acuerdo	Prueba
Gestión de tierras agrícolas	agronomía	+		±	***	**
	manejo de nutrientes	+		+	***	**
	gestión de residuos de cosecha	+		±	**	**
	gestión del agua (riego, drenaje)	±		+	*	*
	gestión de arroz		+	±	**	**
	agroforestería	+		±	***	*
	el uso adecuado del suelo	+	+	+	***	***
Gestión de pastizales / Mejora de los pastos	intensidad de pastoreo	±		±	*	*
	aumento de la productividad (por ejemplo, la fertilización)	+		±	**	*
	manejo de nutrientes	+		±	**	**
	manejo del fuego	+		±	*	*
	la introducción de especies (incluyendo leguminosas)	+		±	*	**
Gestión de los suelos orgánicos	evitar el drenaje de los humedales	+	-	±	**	**
restauración de tierras degradadas	control de la erosión, enmiendas orgánicas, enmiendas de nutrientes	+		±	***	**
Manejo del ganado	prácticas de alimentación mejoradas		+		***	***
	agentes específicos y aditivos dietéticos		+		**	***
	plazo estructural y de gestión de los cambios más largos y la cría de animales		+		**	*
Gestión de estiércol y de biosólidos	mejorar el almacenamiento y la manipulación		+	±	***	**
	digestión anaerobia		+	±	***	*
	uso más eficiente como fuente de nutrientes	+		+	***	**
Bioenergía	cultivos energéticos, sólidos, líquidos, biogás, residuos	+		±	***	**

a/ “+” Denota emisiones reducidas o eliminación mejorada (efecto de mitigación positivo); “-” Denota el aumento de las emisiones o la eliminación suprimida (efecto de mitigación negativo); “±” denota la respuesta incierta o variable.

b/ “Acuerdo” se refiere al grado relativo de consenso en la literatura (a más asteriscos, mayor acuerdo); “Prueba” (o evidencia) se refiere a la cantidad relativa de los datos en apoyo del efecto propuesto (a más asteriscos, mayor será prueba o evidencia).

Fuente: Traducido y modificado de Smith et ál. 2008.

1.14 Sugerencias o posibles acciones relacionadas con las BPA y la reducción de emisiones

- Identificar las prácticas agrícolas que reducen la emisión de gases con efecto invernadero.
- Diseñar instrumentos de política agrícola y de incentivos destinados a apoyar los cambios necesarios para lograr reducción de emisiones.
- Evaluación de los costos de implementación y de análisis de las barreras e incentivos para su implantación.
- El secuestro de carbono, por parte de los suelos agrícolas, es un factor esencial a tener en cuenta en el diseño de futuras estrategias.
- Tan importante como la mitigación, es la adaptación, es decir, el desarrollo de medidas con el objetivo de reducir el impacto que sobre las producciones pueda tener el CC.
- Algunos modelos de producción como la agricultura orgánica o la agricultura de bajos insumos, con la utilización de variedades locales bien adaptadas y con técnicas tradicionales mucho menos dependientes de productos químicos de síntesis, deben ser evaluados como alternativas reales de la agricultura para la mitigación del cambio climático.

Cuadro 8. Buenas prácticas agrícolas con acción mitigante

Labranza mínima (laboreo reducido)
Asociación de cultivos
Utilización racional y eficiente de los fertilizantes
Compostaje aeróbico de residuos de cosecha
Aprovechamiento de tierras de baja productividad
Utilización de abonos orgánicos para la fertilización
Utilización de abonos verdes
Prácticas agroforestales/arborización de los cultivos (cultivos en franja, cercas vivas y cortinas rompevientos en cultivos anuales, árboles de sombra en cultivos perennes)
Incorporación de residuos y podas al suelo
Rotaciones adecuadas de cultivos (descanso)
Coberturas vegetales entre cultivos perennes
Control de la erosión (cultivos en curvas de nivel)

1.15 Almacenamiento de carbono en la biomasa en sistemas agroforestales

El almacenamiento o secuestro de carbono en la biomasa (aérea y subterránea) de los SAF es uno de los principales servicios ecosistémicos por su importancia para la mitigación del cambio climático, particularmente en los SAF con cultivos perennes como café y cacao.

En el caso del cacao, el Programa Centroamericano del Cacao (PCC) del CATIE realizó estudios en cinco países centroamericanos y determinó el carbono total almacenado (en la biomasa aérea y el suelo) en el SAF de cacao, de 23-24 años de edad promedio (Somarriba et ál. 2013; Figura 34). En la biomasa aérea se almacenan entre 33,5 y 72,5 tC/ha, con un promedio 49,2 tC/ha; con tasas de acumulación anual entre 1,9 y 3,7 tC/ha/año (equivalentes a una tasa de fijación de dióxido de carbono entre 7,0 a 13,6 t CO₂/ha/año). La mayor acumulación de carbono ocurre durante los primeros 10 años de edad del cacaotal.

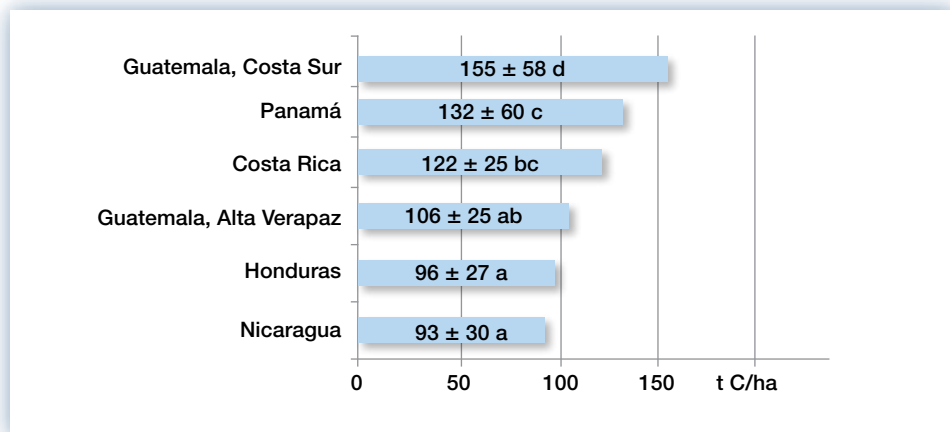


Figura 33. Carbono total promedio (toneladas C/ha) almacenado en sistemas agroforestales en cinco países de Centroamérica. Promedios con letras diferentes indican diferencias significativas entre países ($p < 0,05$).

Fuente: elaborado con datos de Somarriba et ál. (2013).

1.16 Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS) en sistemas agroforestales

Los SAF acumulan carbono orgánico en el suelo (COS) en cantidades relativamente altas debido a la deposición continua de residuos de las plantas; aunque existe mucha variabilidad en las cantidades almacenadas y en la tasas de acumulación anual reportadas, básicamente por la diferencia de especies, el tipo de componente (árboles, arbustos, cultivos perennes o anuales), las densidades de plantación, las prácticas de manejo, la variabilidad climática y el tipo de suelo (Montagnini 2012a, 2012b). Sin embargo, el grado en que el C es retenido en el suelo depende del tamaño de sus agregados.

En un estudio comparativo de dos SAF de cacao con sombra y un bosque natural adyacente en Oxisoles amarillo-rojizos en Bahía, Brasil, realizado por Gama-Rodrigues et ál. (2010), se observó que el 72% del COS se encontraba en macroagregados (> 250 micrómetros), 20% en microagregados (250-53 micrómetros) y el 8% en fracciones de tamaño limo-arcillosos (<53 micrómetros). Teniendo en cuenta que en los SAF de cacao, las perturbaciones

del suelo son mínimas, este estudio menciona la importancia que tienen estos sistemas en la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), a través de la acumulación y retención de grandes cantidades de carbono orgánico en los suelos y sugiere el beneficio potencial de este servicio ambiental a los agricultores de cacao en todo el mundo.

Casanova et ál. (2011) revisaron el papel de los SAF en la captura de carbono en el trópico mexicano y afirman que son una estrategia productiva y amigable con el ambiente. Asimismo resaltan la importancia de los SAF en el ciclo global de carbono y concluyen que son una alternativa sostenible para mitigar el calentamiento global en las zonas tropicales. En otro estudio del SAF en comunidades indígenas de Chiapas se encontró que la materia orgánica del suelo (MOS) fue el mayor reservorio de carbono en todos los sistemas estudiados, incluyendo la milpa, con un promedio de $103,4 \pm 15,0$ tC/ha para los cuatro sistemas; equivalente al 73,2% del C total (Roncal et ál. 2008).

- Los SAF aumentan las reservas de carbono en el suelo ("C stocks").
- Los SAF con cultivos perennes acumulan más carbono que los SAF con cultivos anuales.
- El carbono estable del suelo representa un reservorio a largo plazo.

Montagnini (2012)

También en la región de Huatusco, Veracruz, México, se evaluaron los reservorios de carbono en biomasa vegetal y la materia orgánica edáfica existentes en SAF de café-plátano, café-macadamia, café-*Acrocarpus fraxinifolius*, café-ganado ovino y café-*Inga spuria*, y como referencia de una condición no agroforestal se incluyeron un bosque primario y un potrero con pradera natural. Para el caso del COS (de 0 a 30 cm), el tratamiento de café sombreado con *A. fraxinifolius* presentó el mayor contenido con 172 tC/ha (Espinoza et ál. 2012).

Murray et al. (2014) analizaron la dinámica del contenido de materia orgánica (MO) de un suelo, bajo un SAF y los cambios ocurridos en las propiedades físicas en la Llanura Costera Norte del estado de Nayarit, México; los resultados más sobresalientes fueron: a los ocho años de implantado el SAF se observó un aumento de la materia orgánica edáfica (de 0,51 a 3,86%), una disminución en la densidad aparente (D_a , de 1,40 a 1,19 g/cm³), un aumento en la porosidad total (P_t , de 45,1 a 58,2%) y en la porosidad de aireación (P_a , de 20,8 a 22,20% y en la capacidad de campo (C_C , de 24,3 a 36,0%). Como consecuencia, hubo una mejora en la estructura; un incremento del movimiento del agua y del aire en el suelo y también un aumento en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo.

En resumen, diversos autores reportan valores de acumulación de COS en SAF con cultivos perennes y anuales que varían entre 50 y 180 tC/ha.

1.17 Restauración de áreas degradadas con sistemas agroforestales

La Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) y la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (UICN) fueron de las primeras organizaciones conservacionistas en promover la restauración de áreas degradadas como un instrumento de conservación para complementar los métodos de protección de bosques. La UICN contribuye a la restauración productiva de dichas áreas degradadas mediante la realización de estudios sobre diferentes técnicas de restauración de ecosistemas; la capacitación; el monitoreo de la regeneración natural en áreas con diferente historia de uso productivo; la participación de estudiantes, pasantes y voluntarios en actividades de restauración ambiental; y el asesoramiento a otras organizaciones. En este contexto, el aprovechamiento, la conservación y la restauración pueden ser estrategias complementarias de manejo y los SAF son una herramienta de restauración de áreas degradadas (OIMT-UICN 2005, Ugalde et ál. 2014).

Los SAF podrían detener la degradación forestal, evitar la deforestación generada para establecer sistemas productivos y promover la recuperación de áreas degradadas porque mejoran la fertilidad de los suelos, aumentan la resiliencia al cambio climático y brindan fuentes alternativas de ingresos a los campesinos, incluyendo esquemas similares a los de pagos por servicios ambientales. Sin embargo, los SAF requieren de una inyección inicial de capital, lo cual es un factor limitante en las condiciones actuales de los pobladores meta. En este sentido, los mercados de carbono podrían brindar fuentes de financiamiento para tales prácticas, pero la experiencia en mercados de carbono con pequeños propietarios y campesinos ha demostrado que los costos de transacción podrían ser demasiado altos sin esquemas adecuados de agrupación o agrupación (Tobón 2013).

Los árboles:

- mejoran el suelo,
- favorecen el microclima,
- aportan biodiversidad,
- fijan carbono en la biomasa,
- almacenan carbono en el suelo.

Además, los SAF generan un conjunto de bienes y servicios ecosistémicos mayores que los ecosistemas degradados y al mismo tiempo, tienen potencial de generar recursos por la venta de estos servicios, por su potencial para mitigación y adaptación del cambio climático, porque los árboles mejoran el suelo, favorecen el microclima, aportan a la biodiversidad y son sumideros de carbono en la biomasa y el suelo (Sengupta et ál. 2005).

Diversos autores recomiendan los SAF para la recuperación de áreas degradadas, entre las que se encuentran pasturas abandonadas, antiguos cultivos agrícolas, bordes de arroyos deforestados, áreas deforestadas y bosques degradados por tala selectiva.

1.18 Ventajas comparativas de los SAF

Muchas son las ventajas de los SAF que se reportan en la literatura a nivel mundial en comparación con otros sistemas de producción agrícola o forestal basados en monocultivos. Entre las principales, la Comisión Agroforestal Nacional de Costa Rica, en *Una Propuesta de Acciones para la Consolidación de la Agroforestería en Costa Rica* (Sequeira et ál. 1997), destacó las siguientes:

a) Ecológicas:

- Captura de CO₂
- Protección de los bosques existentes
- Conservación de la biodiversidad
- Conservación de las aguas
- Conservación del suelo
- Mejoramiento del suelo
- Reciclaje de nutrimentos
- Bombeo de nutrimentos
- Fijación de nitrógeno
- Mejoramiento del microclima
- Aprovechamiento óptimo del espacio físico
- Disminución de plagas y enfermedades
- Control de malezas

b) Económicas:

- Diversificación de la producción
- Contribución a la seguridad alimentaria
- Mayores posibilidades de oferta y comercialización de productos alternativos
- Ingresos adicionales por otros productos (maderables y no maderables)
- Menor dependencia de insumos externos
- Mayor producción por unidad de área
- Sostenibilidad de los componentes agrícola y forestal
- Servicios del árbol a los cultivos asociados (protección, sombra, sostén, etc.)

- Simplificación de labores silviculturales
- c) Sociales:
- Existencia de una cultura agroforestal
 - Se promueve el rescate del saber popular
 - Se facilita la introducción y adopción de los SAF
 - Se potencia el intercambio de experiencias e información
 - Se favorece los procesos participativos
 - Utilización de mano de obra familiar y local
 - Mayor estabilidad socioeconómica

Además, si se compara la línea base de un área degradada con un proyecto con SAF, se pueden observar beneficios económicos como aumento en productividad, ingresos adicionales por venta de madera, refuerzo de la institucionalidad, mejoramiento en la calidad de vida y estímulo al desarrollo de nuevos sistemas productivos. Todo esto en adición a los beneficios ambientales, que incluyen: control de erosión, fijación de CO₂, aumento de la biodiversidad, generación de hábitat para especies nativas, regulación hídrica, recuperación de suelos y mejoramiento del paisaje.

Todo esto lleva a considerar indicadores en aspectos socioeconómicos tales como:

- a) El valor y porcentaje de la contribución del sector agroforestal al Producto Interno Bruto (PIB),
- b) el valor de los productos y servicios ambientales de producción AF en los mercados nacionales, de exportación e informales (inclusive las actividades de subsistencia),
- c) el número de personas que dependen del SAF para su sustento,
- d) los programas de formación, capacitación, extensión y desarrollo de mano de obra para los trabajadores/as agroforestales, y
- e) la existencia y aplicación de medidas para garantizar la salud y seguridad de los/las trabajadores/as agroforestales.

A nivel comunitario se debería tomar como indicadores:

- a) La superficie de SAF del que dependen las comunidades para su subsistencia y para sus costumbres y estilos de vida tradicionales,
- b) el número y extensión de áreas agroforestales disponibles para investigación, educación y recreación,
- c) los aspectos culturales, relacionados con los derechos y participación de las comunidades locales y los pueblos originarios.

1.19 Sostenibilidad de los SAF

De acuerdo con lo considerado, la sostenibilidad de los SAF se fundamenta en el equilibrio de lo ecológico, lo económico y lo social, tradicionalmente representados en el triángulo clásico de la sostenibilidad derivado del Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland): Nuestro Futuro Común. En lo ecológico, porque la interacción sinérgica entre los diversos componentes del sistema permite que este funcione como un todo armonioso en el espacio y el tiempo, conservando así los recursos naturales del sitio (suelo, agua, aire, biodiversidad). En lo económico, debido a la diversificación del sistema y una mayor eficiencia en el uso de los recursos por unidad de área permite optimizar (en vez de maximizar) la producción según el principio de rendimiento sostenido. En lo social, la seguridad alimentaria, el empleo y los ingresos adicionales que genera el sistema contribuyen a estabilizar la economía familiar, y por ende, promover el desarrollo integral de las comunidades rurales.

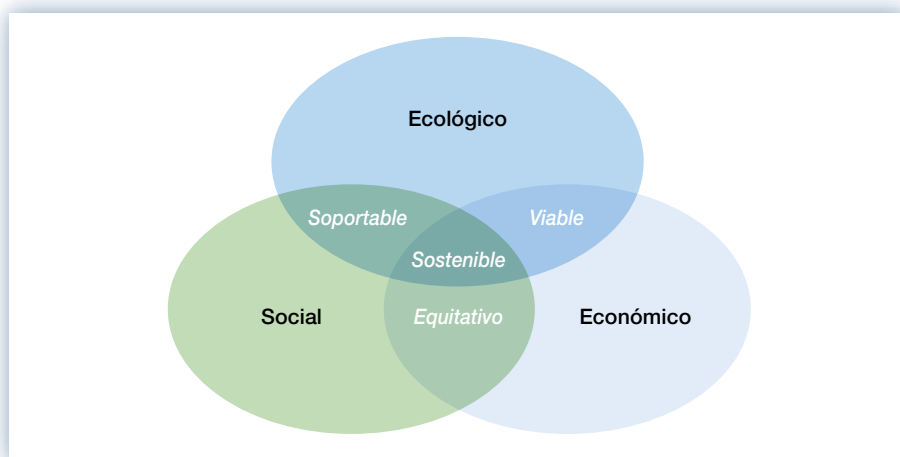


Figura 34. Triángulo de la sostenibilidad derivado del Informe de la Comisión Brundtland (1987).

La sostenibilidad en la agricultura se puede analizar o plantear en cinco niveles o escalas (Paniagua y Moyano 1998) y esto es aplicable a los SAF:

1. A nivel de la finca donde en una escala microeconómica, se decide la adopción de un SAF, la rotación de cultivos, las inversiones, entre otros,
2. a nivel de la comunidad local, constituida por agricultores/as relacionados entre sí por proximidad geográfica y vínculos culturales y sociales,
3. a nivel del paisaje, donde se manifiestan efectos tales como la degradación y deterioro paisajísticos, la intensidad de los procesos erosivos, la pérdida de identidad de regiones naturales, etc.,

4. a nivel nacional o regional, donde se manifiestan, a nivel macroeconómico, problemas debidos a la presión ambiental (contaminación de agua, suelo y aire) o el incremento de los costos sociales ocasionados por la producción agrícola y la generación de excedentes (impuestos, subvenciones), y
5. a nivel internacional o global, donde se expresan los problemas del cambio climático, la deforestación y desertificación, el agotamiento de recursos, entre otros.

1.20 Consideraciones generales sobre los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son una opción viable para reducir la degradación de tierras y generar ingresos a la familia rural. Sin embargo, debido a la estructura de costos y al período de retorno, se debería considerar la asistencia técnica y financiera (pago de servicios ambientales) para que la adopción y empoderamiento de estos sistemas sea exitoso a largo plazo.

Los agricultores(as) mesoamericanos están familiarizados con un conjunto de SAF tradicionales, entre los cuales destacan café con sombra, cacao con sombra, sistemas silvo-pastoriles (SSP) y árboles en hilera.

Las diferentes modalidades de los SAF permiten la diversificación de la agricultura familiar, la venta de excedentes de producción y el uso eficiente de los recursos naturales de la finca (agua, tierra, biodiversidad, energía); factores que están ligados al grado de desarrollo de la economía campesina y que permitiría esquemas productivos, alimentarios y nutritivos más integrales.

Debido a las similitudes que hay en su estructura, en los flujos de energía y ciclos de nutrientes con los ecosistemas de bosques naturales, se considera que los SAF son una alternativa de uso ecológicamente sustentable para zonas climáticas donde la vegetación natural es un bosque (Ewel 1986).

En el caso de Guatemala, existe un Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal (Pinpep) que es un instrumento para fortalecer la productividad campesina rural, al promover la incorporación de los SAF como agroecosistemas productivos que contribuyan a mejorar la dieta de las familias rurales y como alternativa para la recuperación de cobertura forestal, generación de ingreso y también como un medio para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los SAF brindan perspectivas para los agricultores/as en sus propias tierras y también para otros usuarios institucionales a nivel regional o territorial en la planificación y el manejo de sistemas de uso sostenible del suelo para los ecosistemas frágiles del trópico húmedo y con estación seca.

Los SAF, ya sean tradicionales o innovativos, permiten elaborar estrategias para el mantenimiento de la productividad con base en la regulación de la recirculación de nutrientes a

través de la elección de las especies, las densidades de plantación, y la ordenación de la sombra del dosel sobre los cultivos por medio de las podas. Todo esto hace posible maximizar el ingreso y minimizar la pérdida de nutrientes del suelo.

Si bien, siempre se destacan las ventajas del componente arbóreo (árboles, arbustos, palmas y bambúes) en los SAF, también puede haber efectos negativos sobre los cultivos y el suelo cuando la densidad de plantación y el sombreo son excesivos y cuando la elección de las especies no es la más apropiada.

Hay modalidades de SAF ancestrales (*Quesungual* o *Kuxum-Rum*) que son muy apropiadas para zonas tropicales con estación seca y para la recuperación de áreas degradadas.

Las SAF son una forma de **restauración productiva** de áreas degradadas porque mejoran la fertilidad de los suelos, aumentan la resiliencia al cambio climático y brindar fuentes alternativas de ingresos a la población local.

Los SAF brindan beneficios económicos y sociales muy diversos, que van desde valores económicos fácilmente cuantificables a servicios y contribuciones al ambiente y las personas que son menos tangibles.

Los SAF constituyen actividades elegibles para el mecanismo REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación de los Bosques) porque reducen el riesgo de deforestación, pueden aumentar las reservas de carbono y ofrecen beneficios sociales y ambientales reconocidos dentro del mecanismo REDD+ (Co-beneficios).

Los SAF se insertan dentro del concepto del mecanismo de Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA, por sus siglas en inglés) que se basa en una combinación de incentivos públicos y de mercado para la ejecución de medidas para la mitigación de GEI. Un ejemplo es el NAMA para el sector cafetalero de Costa Rica, que constituye una amplia plataforma de coordinación y participación del sector junto con entidades gubernamentales, no gubernamentales y de la cooperación internacional, que abarca un área de más de 90 000 hectáreas y 50 000 productores, para la mejora de la competitividad (ahorro en costos y diversificación del sistema agroforestal del cafetal), y busca, a la vez, la diferenciación del sector manteniendo su acceso a mercados y aportando a una economía baja en emisiones.

Los pueblos y comunidades indígenas son dueños o administradores de una superficie considerable de los bosques existentes en la región mesoamericana; en consecuencia, están relacionados con las prácticas agroforestales que comprenden cultivos de subsistencia como maíz, frijol, plátano, banano y cacao, manejado mediante conceptos de bajo impacto y combinados en sistemas agroforestales; donde los cultivos múltiples se mezclan con árboles maderables, con cultivos permanentes como el cacao, ofrecen una visión diferente sobre lo que deben ser los sistemas agroforestales y el manejo ancestral del bosque natural ya que desarrollan una producción sostenible en la cual nunca se deja el suelo descubierto.

En un breve resumen de lo anterior, México está a la vanguardia de la forestería comunitaria y está entre los países con mayor extensión en manos de comunidades en el mundo (aproximadamente 70% de los bosques); Guatemala, tiene experiencias y logros en la gestión forestal comunitaria, con más de 20% de los bosques manejados de forma comunal o municipal (380 000 ha manejadas de forma sostenible por concesiones comunitarias en el Petén); en Panamá, el 54% de los bosques y el carbono se encuentran en territorios indígenas y los pueblos indígenas organizados bajo la Coordinadora Nacional de los Pueblos Indígenas de Panamá (COONAPIP); Nicaragua tiene planteamiento interesantes en las Regiones Autónomas (21 territorios titulados con más de 3.6 millones de hectáreas, que son más del 62% de los bosques en Regiones Autónomas de la Costa Caribe Norte y Sur (RACCN y RACCS) en Honduras, más de 400 000 ha están en manos de comunidades a partir de la Ley Forestal de 2007, hay titulación de siete territorios y 760 000 ha en la Mosquitia; mientras que en Costa Rica, los pueblos indígenas, que constituyen el 2% de la población con 12% de los bosques en el país, tienen Asociaciones de Desarrollo Indígena (ADI) y a partir de estos derechos se estableció el Pago de Servicios Ambientales (PSA) en territorios indígenas con institucionalidad consolidada por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo).

Finalmente, los SAF son una alternativa posible de recibir pago por los servicios ambientales que producen; lo cual requiere que quien trabaja la tierra introduzca tantos árboles como su actividad se lo permita. En el caso de los cultivos mixtos que involucran árboles maderables se comprometerá a aumentar y/o reordenar el número de árboles y disminuir impacto del cultivo sobre suelos y aguas y que su actividad sea coincidente con la capacidad de uso del suelo; además que podrían constituir una oportunidad para el fortalecimiento de los procesos de conservación, aprovechamiento sustentable y reducción de la pobreza en la región mesoamericana.

Bibliografía

- Afanador Ardila, A. 2008. Climate change adaptation in Latin American agriculture. Are agroforestry systems an alternative? M.S. Thesis. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, New Haven, CT, USA. p. 36.
- Aguirre Rubí, J.R., O.D. González Quiroz, C. Harvey, R. Martínez. 2001. Degradación de las cortinas rompevientos al este de la ciudad de León, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8, 31:13-17.
- Anta Fonseca, S. 2007. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. Instituto Nacional de Ecología. Coyoacán, México D.F. En línea: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/498/anta.html>
- Barrios, E. y J.G. Cobo, 2004. Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by Alavalapati J.R.R., D. E. Mercer & J.R. Montambault. 2004. Agroforestry systems and valuation methodologies. In: Alavalapati, J.R.R.; Mercer, D.E. eds. *Valuing agroforestry systems methods and applications. Agroforestry systems and valuation methodologies: an overview*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, pp. 1-8.
- . 2004. Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by slash/agroforestry systems in tropical hillsides of Colombia. *Agroforestry Systems*, 40(3):255-265.
- Budowski, G. 1981. The Socio-economic effects of forest management on the lives of people living in the area. The case of Central America and some Caribbean countries. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 16-17.
- . 1987. Living fences in tropical America: a widespread agroforestry practice. *In Agroforestry: realities, possibilities and potentials*. Edited by H.L. Gholz. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 169-178.
- Budowski, G. & R. O. Russo. 1993. Live Fence Posts in Costa Rica: A Compilation of the Farmer's Beliefs and Technologies. *Journal of Sustainable Agriculture*, 3(2).65-87.

- Casanova-Lugo, F.; J. Petit-Aldana y J. Solorio-Sánchez. 2011. Los Sistemas Agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el Trópico Mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1): 5-118.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2002. Técnicas Agroforestales para producir tomate en laderas. D.L. Kass, A. Schlönvoigt y F. Jiménez, eds. Colección de Folletos de Agricultura Ecológica para Productores, No. 1. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 186 p.
- . 2011. Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganadería. C.Villanueva, C.J. Sepúlveda y M. Ibrahim, eds. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 243 p.
- Cerda, R; T. Espin y M. Cifuentes. 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 49:33-41.
- Combe, J. 1979. Concepto sobre la investigación de técnicas agroforestales en el CATIE. Turrialba, Costa Rica. 20 p.
- Combe, J. y G. Budowski. 1979. Clasificación de técnicas agroforestales; una revisión de literatura. In De Las Salas, G. ed. *Taller Sistemas Agro-Forestales en América Latina*, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y Universidad de las Naciones Unidas. Turrialba, Costa Rica. pp. 17-48.
- Cook, O.F. 1901. Shade in coffee culture. U.S. Department of Agriculture, Division of Botany, Bulletin No. 25. Washington, D.C. 116 p.
- Current, D. 1997. ¿Los sistemas agroforestales generan beneficios para las comunidades rurales?. Resultados de una investigación en América Central y el Caribe. *Agroforestería de las Américas*, 16:4-14.
- Detlefsen, G. 1984. Crecimiento inicial de cuatro especies forestales para producción de leña en sistema taungya en el Parcelamiento La Máquina, Suchitepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos, Guatemala. 90 p.
- Espinoza-Domínguez, W.; L. Krishnamurthy; A. Vázquez-Alarcón; A. Torres Rivera. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1): 57-70.
- Ewel, J. 1986. Designing agricultural systems for the humid tropics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 17:245-271.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2000. FAO, Roma. 329 p.
- . 2010. Agricultura “climáticamente inteligente”: Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. FAO, Roma.
- . 2013. Advancing Agroforestry on the Policy Agenda: A guide for decision-makers, by G. Buttoud, in collaboration with O. Ajayi, G. Detlefsen, F. Place & E. Torquebiau. Agroforestry Working Paper no. 1. FAO, Rome. 37 pp.
- Farfán V., F. 2014a. Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. CENICAFÉ Centro Nacional de Investigaciones de Café). Manizales, Colombia. 8 p. (Avances Técnicos No. 440).
- . 2014b. Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Manizales, Caldas (Colombia), 342 p.
- Farfán, F. y J. E. Baute. 2010. Efecto de la distribución espacial del sombrío de especies leguminosas sobre la producción de café. *Cenicafé* 61(1):35-45.
- Ferguson B.G. & D.M. Griffith. 2004. Tecnología agrícola y conservación biológica en El Petén, Guatemala. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica), 72:72-85
- Fournier, Luis A. 1981. Importancia de los sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agro-nom. Costarr.* 5(1/2): 141-147.
- Gama-Rodrigues, E.F., P.K.R. Nair, V.D. Nair, A.C. Gama-Rodrigues & R.C.R. Machado. 2010. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Environmental Management*, 45(2):274-283.
- Gligo, N. y J. Morello. 1980. Notas sobre la historia ecológica de América Latina. (Seminario sobre organizado por CEPAL y PNUMA, 19-23 de noviembre de 1979). En *Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina*, Editado por Osvaldo Sunkel y Nicolo Gligo. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. pp. 112-148.
- Golberg A.D., U. Boldes y J. Colman. 2003. La protección de los cultivos de los efectos del viento. Cap. 5. En A.D. Golberg y A.G. Kin (eds.). *Viento, suelo y plantas*. Ediciones INTA, Anguil, La Pampa, Argentina. pp. 73-127.
- Gómez, M. y C. Reiche. 1996. Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico N° 282. CATIE/GTZ-IICA. Turrialba, Costa Rica. 49 p.

- Haggar, J.P., C. Schibli y C. Staver. 2001. ¿Cómo manejar árboles de sombra en cafetales? *Agroforestería en las Américas*, 8(29):37-41.
- Häger, A., 2012. The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 86(2):159-174.
- Häger, A., M. Fernández Otárola, M.F. Stuhlmacher, R. Acuña Castillo, A. Contreras Arias. 2014. Effects of management and landscape composition on the diversity and structure of tree species assemblages in coffee agroforests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199:43–51.
- Hart, R.D. 1985. *Agroecosistemas: conceptos básicos*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 159 p.
- . 1990. Componentes, subsistemas y propiedades del sistema finca como base para un método de clasificación. En *Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola*. Germán Escobar y Julio Berdegué, Editores. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP). Santiago de Chile. pp. 45-62.
- Heilser, G.M. y D.R. DeWalle. 1988. Effects of windbreak structure on wind flow. *Agricultural Ecosystems Environments*, 22/23:41-69.
- Holdridge, L. R. 1979. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA, San José, Costa Rica. 216 p.
- Hueting, R., L. Reijnders, B. de Boer, J. Lambooy & H. Jansen. 1998. The concept of environmental function and its valuation. *Ecological Economics*, 25(1):31-35.
- ICRAF (International Council for Research in Agroforestry). 1997. Redefining Agroforestry-an opening Pandora's box? *Agroforestry Today*, Vol 9 N° 1. 5 p.
- King, D.I., R.B. Chandler, J.H. Rappole, R. Raudales & R. Turbey. 2012. Community-based agroforestry initiatives in Nicaragua and Costa Rica. In: Simonetti, J.A.; Grez, A.A.; C.F. Estados, C.F., eds. *Biodiversity conservation in agroforestry landscapes: challenges and opportunities*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. pp. 99-115.
- Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1999. *Agroforestería básica*. Serie textos básicos para la formación ambiental. PNUMA-ORPALC RFAALC. México D. F. 340 p.
- Krishnapillay, B. 2000. Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca. *Unasylva* 201, 51:14-21.
- Kürsten, E. and P. Burschel. 1993. CO₂-Mitigation by Agroforestry. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 533-544.
- La Carta de la Tierra (2000). http://www.earthcharterinaction.org/invent/images/uploads/earthcharter_spanish.pdf

- Läderach, P., J. Haggard, C. Lau, A. Eitzinger, O. Ovalle, M. Baca, A. Jarvis y M. Lundy. 2013. *Café mesoamericano: Desarrollo de una estrategia de adaptación al cambio climático*. Claridades Agropecuarias (México), No. 241, Setiembre 2013, pp. 30-36. <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/241/ca241.pdf>
- Leiva, J. M. 1993. Evaluación de tres especies forestales en plantación pura y sistemas taungya en la parte alta de la cuenca del río Achiguate, Guatemala: resultados de 5 años de investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Fundación Internacional para la Ciencia, Estocolmo, Suecia. 61 p.
- _____. (ed.). 2009. *Manual de Agroforestería para Zonas Áridas y Semiáridas*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN)/ Mecanismo Mundial de la UNCCD. Ciudad de Guatemala. 102 p.
- López Musálem, A. 2001. Asistencia técnica y capacitación en sistemas agroforestales tipo multestratos. Publicación No. 11/01. ALADI (Asociación Latinoamericana de Integración), México. 50 p. (Informe de Consultoría) Disponible en: <http://www.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/vpublicanterioresweb/>
- Lundgren, B.O. & J.B. Raintree. 1982. Sustained agroforestry. In B. Nestel, ed. *Agricultural research for development: potentials and challenges in Asia*. ISNAR, The Hague, International Service for National Agricultural Research. pp. 37-49.
- Manson R. H., V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter (editores). 2008. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México, 348 p.
- Mendieta López, M. y L.R. Rocha Molina. 2007. *Sistemas Agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 115 p.
- Mendoza, A.A., E. Manrique y J.L. Mora. 2014a. Potencial del Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) en tierras de ladera en el sudeste de Honduras: reduciendo la vulnerabilidad al cambio climático de pequeños agricultores de subsistencia. III Workshop REMEDIA. Valencia, 10 y 11 de abril de 2014. pp. 53-55.
- _____. 2014b. Potencial del Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) para el aprovechamiento agroganadero sostenible en el sudeste de Honduras. Pastos y PAC 2014-2020. 53ª Reunión Científica de la SEEP (9-12 junio 2014):539-546.
- Mercer, D.E. & R.P. Miller. 1998. Socioeconomic research in agroforestry: progress, prospects, priorities. *Agroforestry Systems*, 38:177-193.

- Mercer, D. E. & S. K. Pattanayak. 2003. Agroforestry Adoption by Smallholders. In: Sills, Erin O.; Abt, Karen Lee, eds. Forests in a market economy. 2003. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp. 283-299.
- Mestre, A. y H. F. Ospina. 1994. Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. Chinchiná: CENICAFE. 8 p. (Avances Técnicos N° 201).
- Monge, J. y R. O. Russo. 2009. Agroforestería, sostenibilidad y biodiversidad. Editorial EARTH, Guácimo, CR. 22 p. (Serie Documentos Técnicos ; N° 2009-7).
- Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. OET, San José, Costa Rica. 622 p.
- . 2012a. El papel de la agrosilvicultura en la adaptación y mitigación del cambio climático. Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, Facultad de Ciencias Forestales. 7-9 de junio de 2012. Eldorado, Misiones, Argentina.
- . 2012b. Los sistemas agroforestales y su contribución para la mitigación y adaptación al cambio climático. Revista Alcance (Edición Especial Diciembre 2012):1-22.
- Montagnini, F. & P.K. Nair. 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61: 281-295.
- Montagnini, F., D. Cusack, B. Petit & M. Kanninen. 2005. Environmental Services of Native Tree Plantations and Agroforestry Systems in Central America. *Journal of Sustainable Forestry* 21(1) 51-67.
- Murray, R.M.; M.G. Orozco; A. Hernández; C. Lemus y o. Nájera. 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1): 23-31.
- Nair, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3:97-128.
- . 1993. Definition and concepts of agroforestry: Community forestry, farm forestry, and social forestry. Chapter 3. In *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp.13-16.
- OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales)-UICN (Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza). 2005. Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales Serie Técnica OIMT N° 23.
- OIC (Organización Internacional del Café). 2013. Informe sobre el brote de la roya del café en Centroamérica y plan de acción para combatir la plaga. En línea: http://juntadel-cafe.org.pe/sites/default/files/oic_apoyara_combate_a_la_roya.pdf

- Ospina, A. 2003. Agroforestería: Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. ACASOC, Cali, Colombia. 205 p.
- Paniagua, A. y E. Moyano. 1998. Medio ambiente, desarrollo sostenible y escalas de sustentabilidad. Revista Española de Investigaciones Sociológicas (Reis), 83:151-175.
- Platen, H. von. 1996. Alternativas de reforestación: taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras; la economía. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 55 p. (Serie Técnica. Informe Técnico N° 250).
- Poveda,V.; L. Orozco; C. Medina; R. Cerda y A. López. 2013. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. Agroforestería en las Américas, 49:42-50.
- Quesada, F., E. Somarriba & M. Malek. s/f. ShadeMotion 3.0: Software para calcular la cantidad de horas de sombra que proyectan un conjunto de árboles sobre un terreno. CATIE, Turrialba, CR. 31 p. <http://www.shademotion.com/documentos/Tutorial3-0esp.pdf>
- Rena, A. B. y M. Maestri. 1987. Ecología del cafeto. En: Ecología da producao agrícola. Piracicaba, Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 120-145.
- Russo, R. O. 1981. Los sistemas agroforestales como reguladores y protectores del medio ambiente. Biocenosis (Costa Rica), 2(3):5-6.
- Russo, R. O. & G. Budowski. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. Agroforestry Systems, 4(2):145-162.
- Sanderson, J. & L. D. Harris. 2000. Landforms and landscapes. In J. Sanderson and L.D. Harris (eds.), Landscape ecology: a top-down approach. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. pp. 45-55.
- Schlönvoigt, A & J. Beer. 2001. Initial growth of pioneer timber species in a taungya system in the humid lowlands of Costa Rica. Agroforestry Systems 51:97-108.
- Schlönvoigt, A & M. Schlönvoigt. 2001. Initial shoot and root growth patterns of *Cordia alliodora* in agroforestry systems with perennial crops in the Atlantic lowlands of Costa Rica. Journal of Sustainable Agriculture 20(1):41-56.
- Schlönvoigt, A. 2012. Sistemas Taungya. Cap. 9. In G. Detlefsen y E. Somarriba (Editores). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 161-178. (Serie técnica, Manual Técnico N° 109).

- Schroth, G., G.A.B.da Fonseca, C. Harvey, H.L. Vasconcelos & A.M. Izac. 2004. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, D.C. 525 p.
- Sengupta, S., S. Maginnis y W. Jackson. 2005. Estrategias aplicables a nivel del sitio para restaurar las funciones forestales en tierras agrícolas. En: Restaurando el paisaje forestal: Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie Técnica Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) N° 23. Yokohama, Japón. pp. 119-127.
- Silva, C.; L. Orozco; M. Rayment y E. Somarriba 2013. Conocimiento local sobre los atributos deseables de los árboles y el manejo del dosel de sombra en los cacaotales de Waslala, Nicaragua. Agroforestería en las Américas, 49:51-60.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach & J. Smith. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Phil. Trans. R. Soc. B, 363:789-813.
- Somarriba, E. 1990. Qué es agroforestería? El Chasqui, 24:5-13.
- . 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. Agroforestry Systems, 19:233-240.
- . 2002. Estimación visual de la sombra en cafetales y cacaotales. Agroforestería en las Américas 35/36:86-94.
- . 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? Agroforestería en las Américas, 41/42:120-128.
- . 2007. Cocoa and shade trees: production, diversification and environmental services. GroCocoa, 11:1-4.
- . 2013. Análisis, diseño y manejo del dosel de sombra (cacao, café, etc.). Curso de Posgrado Agroforestería con cultivos anuales y perennes, Presentación 30 de mayo 2013. CATIE, Turrialba, Costa Rica. [http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Agrof-Cult-AyP/Curso%20SAF%20A%20y%20P%202011/G.%20An%C3%A1lisis%20doseles%20en%20SAF/Clase%20\(presentaci%C3%B3n\)/DiseñoManejoDoselSombra_SAFap_29MAY2013.pdf](http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Agrof-Cult-AyP/Curso%20SAF%20A%20y%20P%202011/G.%20An%C3%A1lisis%20doseles%20en%20SAF/Clase%20(presentaci%C3%B3n)/DiseñoManejoDoselSombra_SAFap_29MAY2013.pdf)
- Somarriba, E.; J. Beer; J.A. Orihuela; H. Andrade; R. Cerda; F. DeClerck; G. Detlefsen; M. Escalante; L.A. Giraldo; M.A. Ibrahim; L. Krishnamurthy; V.E. Mena; J.R. Mora; L. Orozco; M. Scheelje; J.J. Campos. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. In: Nair, P.K.R.; D. P. Garrity (Eds.). Agroforestry: The future of global land use. Springer, The Netherlands. pp. 429-453.

- Somarriba; E.; R. Cerda; L. Orozco; M. Cifuentes; H. Dávila; T. Espin; H. Mavisoy; G. Ávila; E. Alvarado; V. Poveda; C. Astorga; E. Say & O. Deheuvels. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173:46-57.
- TECA-FAO (Technologies and Practices for small agricultural producers). 2014. Barreras rompevientos: ventajas, establecimiento y especies útiles. En línea: <http://teca.fao.org/read/3646#sthash.k8jQ7NNz.dpuf>
- Tobón H., M.P. 2013. Recuperación de áreas degradadas con sistemas agroforestales en Colombia: "Proyecto Agrupado VCS Internacional". Programa de Manejo Forestal Sostenible en la Región Andina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)-Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia (MAEF). 16 p.
- Torquebiau, E.F. 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Life Sciences*, 323:1009–1017.
- Ugalde de la Cruz, Y.H., B. Maruri Aguilar, I.G. Carrillo Ángeles y E. Sánchez Martínez. 2014. Estrategias para la restauración con un enfoque agroforestal de áreas degradadas circunscritas por zonas urbanas en la región semiárida de Querétaro. *Nthe (México)*, 5(8):3-9. <http://www.concyteq.edu.mx/concyteq/publicaciones/NTHE/pdf/Nthe8.pdf>
- Wadsworth, F.H. Forest Production for Tropical America. 1997. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook N° 710. Washington, DC. 563 p.

Anexos

Anexo 1

Costos de sistemas agroforestales en Mesoamérica. Resumido y adaptado de Gómez y Reiche (1996) y Gómez (2004)

Todo proyecto agroforestal tienen actividades de costo (egresos de efectivo a lo largo de un período de tiempo) y actividades de beneficio (ingresos futuros de efectivo). Los costos tienen importancia para la toma de decisiones del establecimiento del SAF y son relevantes tanto para inversionistas, a los que ayuda en la toma de decisiones de inversión y aportan elementos para determinar si la inversión es factible y rentable, como para los analistas y consultores, a los que les permite realizar estudios de costos de los SAF para diversos fines.

Existen categorías de costos (variables y fijos, en efectivo y no efectivo) y estructuras de costos por actividades. Los costos variables (CV) son aquellos que cambian con el nivel de producción, mientras que los costos fijos (CF) son los que no cambian con la cantidad o el volumen que se produce. Ejemplos de CV son: mano de obra, arbolitos, semillas, fertilizantes, herbicidas, combustible, etc. y de CF: la depreciación de un equipo, el salario de una persona, costos administrativos, etc.

Los CV más los CF forman el Costo Total (CT)

$$\mathbf{CT = CV + CF}$$

Si CV= \$800 y CF= \$200; CT = \$1 000

Costo medio y costo marginal

Costo Medio (CM) = Costo total/cantidad producida

Ejemplo: si el CT es \$17 500 y se producen 50 000 arbolitos;

=> CM = \$17 500/50 000 arbolitos = \$0,35/arbolito

Los factores que determinan variaciones en los costos son múltiples:

- Ubicación del SAF
- Mano de obra (variaciones salariales por país)
- Especies utilizadas
- Densidad de plantación
- Tipo de cultivo
- Escala de plantación
- Sistema de plantación
- Tecnología (materiales y equipos)
- Cargas sociales
- Inflación

Gómez y Reiche (1996) basados en diferentes estudios hechos en Costa Rica y América Central, determinaron los **costos de establecimiento del componente forestal** para varios tipos de SAF, los cuales, con valores actuales, oscilarían entre \$0,25 y \$0,70/árbol. Señalan que existen diferencias importantes en los costos hasta el año 3, asociados con las características propias de cada sistema (densidad, especies, manejo, etc.) y recomiendan actualizar los costos de acuerdo con los índices de precios y las tasas de cambio o inflación.

En Mesomérica se experimentan variaciones en los costos de SAF entre \$1 350 y \$3 500/ha, en función del tipo de cultivo (anual o perenne) y del componente arbóreo. La etapa de establecimiento de los árboles constituye uno de los mayores esfuerzos. Las principales variaciones se experimentan en los costos de mano de obra (\$/jornal), diferentes en cada país.

Cuadro A1.1. Costo de la mano de obra en los países de la región (\$/jornal)

Belize	\$ 12-13
Costa Rica	\$ 14-18
El Salvador	\$ 4-5
Guatemala	\$ 5-6
Honduras	\$ 4-5
México	\$ 4-5
Nicaragua	\$ 4-5
Panamá	\$ 8-9

Conclusiones sobre costos de SAF en Mesoamérica

1. Los costos de establecimiento de SAF en Mesoamérica varían entre \$1 350 y \$3 500/ha (en los primeros tres a cinco años).
2. En términos nominales, los costos experimentan una tendencia creciente en todos los países.

3. Los costos de la mano de obra incrementan a tasas menores que la inflación.
4. Los costos de materiales y servicios en cambio, se incrementan a tasas superiores a la inflación.
5. Hay una variabilidad importante en los costos, debidas a diversos factores: región, especie, espaciamiento, escala de producción, sistemas de plantación, sistemas de manejo, tecnología, vegetación antes de plantar y otros.
6. La información sobre costos ha sido útil para la determinación de sistemas de Pago de servicios ambientales.

Ejemplos de estructura de costos en SAF

Cuadro A1.2. Estructura de costos del cultivo de árboles en cortinas rompevientos de dos estratos, con 1 112 plantas/km. Jornales y materiales empleados.

Actividad	Jornales**	Insumos***
Chapea o limpia inicial*	9,1	
Trazado o marcación	3,6	
Ahoyado	8,9	
Transporte de plantas		
Distribución de plantas	2,3	
Plantación	7,4	1 112 plt
Fertilización	1,2	34 kg
Replante	0,6	80 plt
Chapea manual	12,4	
Control plagas (zompopos)	0,6	1 kg
TOTAL AÑO 1	46,1	
Chapea manual	6,9	
TOTAL AÑO 2	6,9	
Chapea manual	4,3	
TOTAL AÑO 3	4,3	
TOTAL GENERAL	57,3	

Notas fuente original: * Generalmente, de una a dos limpias manuales y una o dos con herbicidas, ** Jornal= \$ 4-16/día, *** Insumos: Plantas= \$0,35/plt, Fertilizantes= \$0,45-0,50/kg, Herbicida= \$4,6/litro, Insecticida= \$15/kg. Fuente: modificado y actualizado de Gómez y Reiche 1996.

Cuadro A1.3. Resumen de costos de establecimiento del componente arbóreo en cuatro sistemas agroforestales comunes en Costa Rica: árboles en líneas, cortinas rompevientos (\$/km), bosquetes y árboles con cultivos (\$/ha)

Actividad	Jornales**	Insumos***
Chapea o limpia inicial*	6,1	
Rodajea Inicial	5,2	
Trazado o marcación	2,8	
Ahoyado	7,1	
Transporte de plantas		
Distribución de plantas	1,5	
Plantación	6,0	1111 plt
Fertilización	1,9	67 kg
Replante	1,5	69 plt
Chapea manual	11,6	
Rodajeo manual	7,8	
Control Plagas (hormigas)	1,0	2,0 kg
Prevención fuego	1,5	
TOTAL AÑO 1	54,0	
Chapea manual	11,3	
Rodajeo manual	6,3	
Fertilización	1,9	38 kg
Control plagas (hormigas)	1,8	1 kg
Prevención fuego	1,8	
TOTAL AÑO 2	23,1	
Chapea manual	8,6	
Rodajeo manual	6,3	
Control plagas (hormigas)	1,4	1 kg
Prevención fuego	1,8	
TOTAL AÑO 3	18,1	
TOTAL GENERAL	95,2	

Notas fuente original: * Generalmente, de una a dos limpieas manuales y una o dos con herbicidas, ** jornal= \$ 4-16/día, *** insumos: plantas= \$0,35/plt, fertilizantes= \$0,45-0,50/kg, herbicida= \$4,6/litro, insecticida= \$15/kg.

Fuente: modificado y actualizado de Gómez y Reiche 1996.

Cuadro A1.4. Estructura de costos en sistemas de cultivo de árboles en líneas, con 665 plantas/km, en dólares/km

Actividad	Jornales**	Insumos***
Chapea o limpia inicial *	6,5	
Trazado o marcación	1,3	
Ahoyado	3,9	
Transporte de plantas		
Distribución de plantas	1,4	
Plantación	3,2	665 plt
Fertilización	1,8	99 kg
Replante	0,8	71 plt
Chapea manual	6,0	
Rodajeo manual	4,4	
Control químico malezas	1,1	3,3 l
Control plagas (hormigas)	1,4	1,5 kg
TOTAL AÑO 1	31,8	
Chapea manual	5,8	
Rodajeo manual	5,1	
Fertilización	1,1	97 kg
Control plagas (hormigas)	0,8	1,1 kg
TOTAL AÑO 2	12,8	
Chapea manual	3,6	
Rodajeo manual	4,1	
Fertilización	1,2	122 kg
Poda	1,7	
TOTAL AÑO 3	10,6	
TOTAL GENERAL	55,2	

Notas fuente original: * Generalmente, de una a dos limpiezas manuales y una o dos con herbicidas, ** jornal= \$ 4-16/día, *** insumos: plantas= \$0,35/plt, fertilizantes= \$0,45-0,50/kg, herbicida= \$4,6/litro, insecticida= \$15/kg.

Fuente: modificado y actualizado de Gómez y Reiche 1996.

Cuadro A1.5. Estructura de costos en sistemas de árboles con frijol, con 512 árboles/ha, en dólares/ha

Actividad	Jornales**	Insumos***
Frijol	64,4	
Limpia de terreno	9,1	
Raspada	16	
Siembra frijol	10,7	12 kg
Control químico malezas	5,1	2 l
Fertilización frijol	3,7	70 kg
Control plagas	2,6	1 kg
Cosecha frijol	10,7	
Aporrea frijol	6,5	
Árboles	17	
Marcación para árboles	1,9	
Ahoyado para árboles	4,2	
Plantación árboles	5,1	512 plt
Limpia manual árboles	5,8	
TOTAL GENERAL	81,4	

Notas fuente original: * Generalmente, de una a dos limpiezas manuales y una o dos con herbicidas, ** jornal= \$ 4-16/día, *** insumos: plantas= \$0,35/plt, fertilizantes= \$0,45-0,50/kg, herbicida= \$4,6/litro, insecticida= \$15/kg.

Fuente: modificado y actualizado de Gómez y Reiche 1996.

Cuadro A1.6. Estructura de costos en sistemas de árboles con café, con 128 árboles/ha, en dólares/ha

Actividad	Jornales**	Insumos***
CAFÉ	149,7	
Control plagas/ enfermedades	21,4	24 kg
Fertilización café	8	700 kg
Poda sombra café	2,8	
Control químico malezas	11,7	12 l
Control manual malezas	21,6	
Aporca	9,3	
Raspada	8,3	
Encalado	1,6	600 kg
Rodajea Manual	4,4	
Poda café	4,6	
Cosecha café	56	
ÁRBOLES	7,2	
Marcación para árboles	0,7	
Ahoyada para árboles	2,1	
Plantación árboles	2,5	128 plt
Fertilización árboles	0,4	32 kg
Limpia manual árboles	1,5	
TOTAL GENERAL	156,9	

Notas fuente original: * jornal= \$ 4-16/día, ** insumos: plantas= \$0,35/plt, Fertilizantes= \$0,45-0,50/kg, herbicida= \$4,6/litro, insecticida= \$15/kg.

Fuente: modificado y actualizado de Gómez y Reiche 1996.

Cuadro A1.7. Resumen de costos de establecimiento del componente arbóreo en cuatro sistemas agroforestales comunes en Costa Rica: árboles en líneas, cortinas rompevientos (\$/km), bosquetes y árboles con cultivos (\$/ha)

Sistema	Año	Jornales	Insumos	Costo	Costo/árbol
Árboles en línea	1	31,80	316,83	760,56	
	2	12,80	60,01	238,63	
	3	10,60	67,93	215,86	
	Total	65,20	454,94	1215,05	1,81
Cortinas rompevientos	1	46,10	385,76	1029,07	
	2	6,90	0,00	96,28	
	3	4,30	0,00	60,00	
	Total	57,30	385,76	1185,35	1,07
Bosquetes	1	54,00	397,94	1151,49	
	2	23,10	26,61	348,94	
	3	18,10	5,45	258,02	
	Total	95,20	430,01	1758,45	1,58
Arboles con café	Árboles	7,20	36,69	137,17	1,07
	Café	149,70	889,07	2978,06	
	Total	156,90	925,76	3115,23	
Arboles con frijol	Árboles	17,00	139,64	376,86	0,74
	Frijol	64,40	101,68	1000,35	
	Total	81,40	241,32	1377,22	

Fuente: actualizado de Gómez y Reiche (1996) a valores actuales de noviembre de 2014.

Los beneficios económicos de los SAF se pueden calcular directamente como un factor cuantitativo de sus resultados (productos agrícolas y maderables más servicios) proporcionados, multiplicando cada uno de ellos por un valor apropiado y sumándolos después. Una variable difícil de estimar es el valor de los productos forestales usados para la subsistencia o de aquellos bienes o servicios que no son objeto de compraventa en los mercados. Para estimar el valor de los productos obtenidos se pueden utilizar los precios del mercado. Los beneficios sociales de los SAF son mucho más difíciles de medir porque tanto, la cantidad como su valor, tienen un proceso de cuantificación complejo. En este caso se suelen utilizar mediciones indirectas para hacer un seguimiento de las tendencias a lo largo del tiempo.

Anexo 2

Indicadores de análisis económico frecuentemente utilizados en SAF

La relación beneficio/costo (B/C), que refleja el beneficio neto que el productor obtiene por cada unidad monetaria invertida.

Para calcular la relación B/C se utiliza la fórmula:

$$B/C = \Sigma B_n (1+i)^n / \Sigma C_n (1+i)^n$$

Donde ΣB_n es la sumatoria de los ingresos o actividades de beneficio durante los n años del proyecto, ΣC_n es la sumatoria de egresos o actividades de costo, i es la tasa de interés usada y n el número de años o ciclo de aprovechamiento.

Este indicador se utiliza para saber cuál es el peso relativo de los beneficios de una actividad productiva, con respecto a sus costos. Aunque para la toma de decisiones no es un indicador apropiado, porque puede inducir a errores, especialmente cuando no se tiene claro la magnitud de comparación de la inversión de los beneficios.

La **tasa interna de retorno** (TIR), que se usa para establecer el porcentaje de ganancia que obtiene el productor según la inversión hecha. La TIR es la tasa de descuento en la cual la sumatoria de los ingresos actualizados y la sumatoria de los egresos actualizados se igualan, es decir que:

$$\Sigma B_n (1+TIR)^n = \Sigma C_n (1+TIR)^n$$

Para calcular la TIR se utiliza la siguiente fórmula práctica:

Última tasa de actualización con VAN positivo	+	Último VAN positivo Suma de valores absolutos del último VAN positivo y el primer VAN negativo	X	Diferencia entre las dos tasas de actualización utilizadas
---	---	--	---	--

Por último, el valor actual neto (VAN) que establece la cantidad de dinero ganado en términos reales.

$$VAN = \Sigma(B_n - C_n) / (1+i)^n$$

Donde $\Sigma(B_n - C_n)$ es la sumatoria de la diferencia entre los ingresos o actividades de beneficio (B_n) y los egresos o actividades de costo (C_n), i es la tasa de interés usada y n el número de años o ciclo de aprovechamiento.

Este indicador se usa cuando se analizan diferentes opciones productivas que podrían ser mutuamente excluyentes. El requisito sine qua non es que **tenga signo positivo**. Cuando un VAN es positivo la alternativa es financieramente viable.

También se calcula el **costo de oportunidad** del cultivo por el posible cambio de uso de la tierra de monocultivo a SAF, tomando como base la renta del ingreso neto del cultivo considerado, según la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de oportunidad del cultivo} = (\text{PTA} \times \text{VPM año 2009}) - (\text{CP})$$

Donde: PTA = producción total promedio anual (t/ha/año); VPM = venta a precios de mercado; CP = costos de producción (gastos en insumos y mano de obra)

El cálculo de los ingresos por el SAF (cultivo en callejones) se hace al considerar que el aprovechamiento total se realiza hasta después de un año:

$$\text{Ingresos por el SAF} = (\text{VAN al } i\% / \text{No. total de años})$$

Donde: VAN = valor actual neto de los beneficios y costos del sistema; $i\%$ = tasa de interés anual (según país); No. total de años = número de años de aprovechamiento total del sistema.

Anexo 3

Análisis de desempeño de una inversión simulada en cacao orgánico con y sin pago de servicios ambientales (PSA) en Panamá (opcional)

El pago de servicios ambientales (PSA) a los SAF es una acción que estimularía su difusión; sobre todo en los SAF con cultivos perennes como el cacao y el café, cuando se producen a escala pequeña. Por ejemplo, en un caso de cultivo de cacao orgánico en Changuinola, Panamá se simuló un PSA y se comparó con el mismo sin PSA. Para el ejercicio se estimó que la vida productiva del cacao es de 15 años, aunque se sabe que la vida económica, con el manejo adecuado, se prolonga más allá de los 20 años. Para los efectos de la simulación se consideró un período de 10 años, para los cuales el análisis de rentabilidad, con y sin PSA, y a una tasa de descuento nominal igual a 12%. Arrojó los índices financieros presentados en el siguiente cuadro.

Cuadro A3.1. Análisis de desempeño de una inversión simulada en cacao orgánico con y sin pago de servicios ambientales (PSA) en Panamá (Tasa de descuento nominal= 12 00%) (Tasa general de inflación= 6 00%) (último período de las actividades = año 10) (valores de van en dólares por hectárea)

	Sin PSA	Con PSA*	Incremento
Valor actual neto (VAN)	\$ 4 697,5	\$ 5 617,63	19,58%
Ingreso equivalente anual (IEA)	\$ 680,47	\$ 813,75	19,58%
Valor esperado del suelo (VES)**	\$ 12 021,66	\$ 14 376,25	19,58%
Relación beneficio/costo	1,30	1,35	3,85%
Períodos para pagar la inversión			7 Períodos
Tasa Interna de retorno real	19,84%	22,85%	15,17%
ANÁLISIS DE RIESGO			
Mano de obra puede variar hasta	60,96%	70,00%	
Insumos pueden variar hasta	87,02%	99,92%	
Precio del cacao del año 6 al 10 puede variar	-45,90%	-51,25%	

* PSA: pago por servicios ambientales de \$ 300,00/ha en el primer año.

** Valor esperado del suelo (VES) es el valor capitalizado de una serie de flujos de caja con tiempo infinitamente prolongados asociados con una alternativa de manejo de la madera que comienza con la tierra desnuda. Dado que el VES se determina a partir de los flujos de caja ingresados, el valor calculado no es apropiado para su interpretación en el período 1, que fue el año de la plantación, todos los flujos de efectivo fueron de manejo de la madera y demás productos están incorporados en la rotación, los flujos de caja están en dólares al período 1. Los costos de compra de terrenos y retornos de venta de terrenos se retiran del flujo de caja actual antes de calcular el VES.

Fuente: simulación realizada por Ricardo Russo para un SAF de cacao orgánico en Changuinola, Panamá 2012.

La opción de producción con PSA es aceptable, dado que la relación beneficio/costo se incrementó un 3,85%, así también como la tasa interna de retorno (TIR) en 15,17%, con la adicionalidad del PSA. También, en el análisis de riesgo se puede observar que el proyecto soportaría hasta un 45,90% de reducción en el precio del cacao, sin PSA y de 51,25% con PSA, y 61% y 70% de aumento en costos respectivamente. Si estas variaciones ocurren, el valor actual neto (VAN) sería igual a cero.

En cuanto a las experiencias de PSA para SAF en Mesoamérica, aún se encuentran en etapas iniciales y la adopción de SAF es baja, debido a sus altos costos de establecimiento. De ahí la importancia que tendrían los incentivos y mecanismos de PSA para promoverlos.

En el caso de Costa Rica que comenzó un programa de PSA en 1997 a través de Fonafifo, el esquema para SAF, tiene una modalidad que se basa en un pago fijo por la plantación de cada árbol (de vigencia nacional en el territorio costarricense).

Hubo otra experiencia de modalidad establecida por un proyecto silvopastoril con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por su sigla en inglés) y con apoyo del Banco Mundial; con un sistema de puntajes para usos de la tierra con diferentes densidades y estructuras de vegetación, basado en un índice de biodiversidad, un índice de captura de carbono y un índice ecológico (que es la suma de los dos primeros). Los índices varían de 0 a 1, 1 el de un bosque primario y 0 el de pasturas degradadas. El enfoque adoptado por el Fonafifo tiene la ventaja de que es muy sencillo y tiene menor costo del monitoreo comparado con el uso de un índice, por tanto en nuestro caso, se recomendaría hacer el pago por árbol plantado establecido y de acuerdo con las condiciones, especies y SAF existentes en cada país.

En el caso de Guatemala, el Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal (Pinpep) promovió la incorporación de los SAF como agroecosistemas productivos para contribuir a mejorar la dieta de las familias rurales y como alternativa para la recuperación de la cobertura forestal, generación de ingreso y también como un medio para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). También, existe el antecedente de PSA en la Biosfera Maya, por captura de carbono con apoyo del BID/FOMIN.

En México, se han hecho reformas para incorporar el concepto de PSA en la legislación nacional y clarificar los derechos de propiedad del carbono. Solo Panamá tiene claramente establecido en su legislación (Ley 41, de 1998, art. 79) que los derechos del carbono son propiedad del Estado.

2. Sistemas silvopastoriles en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas

Autores | **Raúl Botero**
| **Ricardo O. Russo**

2.1 Antecedentes

La conquista de América y la instauración de un sistema colonial en la Nueva España (actualmente Mesoamérica) trajo aparejado el arribo de mamíferos domésticos (vacas, caballos, cerdos, asnos, mulas, cabras y ovejas, lo que tuvo profundas consecuencias en la historia de los últimos 520 años). Asimismo y de acuerdo con los trabajos de Crosby (1988), se produjo un derrumbe demográfico de las sociedades originarias como resultado de la pérdida de un enorme número de vidas humanas por efecto de la importación de enfermedades exóticas del viejo mundo, las guerras contra la población aborigen, el maltrato y el esclavismo a los que fueron sometidos. El despoblamiento súbito (de 1519 a 1590 la población descendió casi un 95%) dio lugar al reparto y colonización de los nuevos territorios “vaciados” en beneficio de los nuevos actores sociales.

El nuevo sistema económico colonial se basó en el despojo de las tierras a la población nativa, la creación de las encomiendas, el repartimiento forzado, la introducción de la esclavitud desde el continente africano, la explotación de los recursos naturales y la inserción de la ganadería bovina con un modelo pastoril sin árboles, lo que condujo a la llamada “potrerización” como consecuencia del desarrollo de la ganadería extensiva en la región mesoamericana. En la práctica, la presencia de árboles y vegetación leñosa en los pastizales representaba un inconveniente para el modelo de ganadería europea, lo cual cambió el paisaje y a la población de estos territorios (Aguilar-Robledo 2001, Barrera Bassols 1996, Sluyter 1996). De acuerdo con Murgueitio (2003), con el tiempo los animales de pastoreo fueron determinantes para consolidar el modelo político y económico, y así, controlar el territorio a través de la propiedad privada, que luego pasó de las colonias ibéricas a las repúblicas y perdura, de diferentes maneras, hasta nuestros días.

Desde el segundo viaje de Cristóbal Colón, hace cinco siglos, las poblaciones pecuarias llegaron a las islas del Caribe y, desde allí, fueron trasladadas al continente a través de las distintas expediciones de la conquista (Pinzón 1984). La explotación ganadera se inició aprovechando los ecosistemas de sabanas naturales, con menor o mayor cobertura herbácea, arbustiva y arbórea, bien o mal drenadas, existentes en varias regiones: Centroamérica y el Caribe; la Orinoquía colombiana y venezolana; el Cerrado y el Pantanal brasileño; el Beni en Bolivia, el Chaco paraguayo y la Pampa argentina. Esta ganadería avanzó con el desmonte de los bosques secos y húmedos, así como de las laderas de las montañas y los altiplanos.

Para el año 2050 la población humana mundial se estima, al menos, en 9 millardos de habitantes, y aumentará hasta en un 70% su demanda por alimentos. Existen actualmente cerca de 130 millones de vacas (40% del hato), sobre una población total estimada en 330 millones de cabezas bovinas en América tropical, que equivale al 23% del hato mundial y que pastorea en 400 millones de hectáreas de pasturas, degradadas actualmente en un 60% (FAO 2012). Ojalá el potencial productivo de la tierra agrícola del mundo se pueda mantener, al igual que la disponibilidad de energía, agua para riego y bebida; y demás insumos indispensables para aumentar la producción de alimentos.

La industria agropecuaria está obligada a intensificar y lograr una alta rentabilidad ante el continuo incremento de los precios de la tierra, sus altos costos de adecuación, infraestructura, maquinaria, equipos, semovientes, insumos y mano de obra; adicionalmente, de su inestable rentabilidad en América tropical. Por otra parte, se deben recuperar los suelos con pasturas degradadas para poder racionalizar su área, implementar sistemas amigables con el ambiente y, finalmente, mitigar el efecto de la ganadería tropical sobre el calentamiento global.

Las estadísticas indican que la natalidad promedio del hato bovino de América tropical es actualmente del 50% anual. Este promedio no ha sido posible aumentarlo debido a que la alimentación del hato ha sido permanentemente deficiente en cantidad y calidad de nutrientes; a que su composición genética está altamente dominada por la raza cebú, cuyo origen tropical y mayor adaptación, causaron su madurez sexual tardía; a la alta incidencia de enfermedades reproductivas; a la subfertilidad ocasional en vientres y toros; a que la gran mayoría de los medianos y grandes productores no viven en sus fincas; a su desinterés por el mejoramiento continuo, por el trabajo en equipo y por fijarse metas de producción; a la deficiente asistencia técnica estatal, así se cobre por ella; a la falta de asociación gremial; a la nula o incipiente toma y análisis de registros productivos; a la mínima capacitación y actualización técnica y contable de los productores, administradores, técnicos y obreros; a la falta de pago de incentivos por producción a los empleados; al temor al cambio y a que los cultivos comerciales continúan desplazando a la ganadería bovina hacia áreas marginales, con escasa infraestructura vial y de servicios, suelos de menor fertilidad natural, y condiciones climáticas adversas.

Esta baja eficiencia reproductiva no le permite al hato bovino crecer ni lograr el mejoramiento genético y productivo, pues escasamente produce los vientres requeridos para aplicar una mínima tasa de remplazo anual (Botero 2012a).

La alimentación balanceada, a través de pasturas con alta biodiversidad, asociadas de gramineas, leguminosas u otras plantas forrajeras herbáceas, arbustivas y/o arbóreas perennes, nativas y/o introducidas¹ de bancos forrajeros y de cercas vivas (Botero y Russo 2000), con manejo óptimo y aforo continuo, para medir la producción de biomasa y elaborar presupuestos forrajeros (Lopera et ál. 2013), que permitan, mediante un pastoreo racional rotacional intensivo (Botero 2012b), lograr su máxima capacidad de carga y conservar forrajes.

De la misma manera, la implementación de prácticas de bienestar animal son claves para alcanzar una alta producción del hato bovino tropical, como por ejemplo: la elaboración y utilización de abonos orgánicos con mezcla de abonos químicos; el suministro de sal con minerales, vitaminas y de suplementos energético proteínicos a base de subproductos agroindustriales que suplan las deficiencias nutricionales de los alimentos consumidos; la disponibilidad estacional de agua para riego y para bebida abundante y de alta calidad, en bebederos que no afecten las fuentes naturales de agua; el realizar la descontaminación productiva de las aguas servidas y el manejo apropiado de los desechos sólidos (Botero 2011a); la aplicación de un plan eficiente de sanidad animal preventiva y la utilización de animales F1 (cebuínos por europeos y/o por criollos tropicales) con alto vigor híbrido, precocidad, adaptación y longevidad productiva.

Pero también, algunas prácticas de manejo son muy importantes para permitir su máximo potencial productivo y reproductivo como reducir la mortalidad, la edad tardía para iniciar la reproducción y el sacrificio, y aumentar su rentabilidad, sin que sea necesario realizar altas inversiones para su implementación en la empresa ganadera (Botero 2011b).

2.2 Objetivos

- Proponer los conceptos, definiciones, caracterización, procesos y prácticas de los sistemas silvopastoriles (SSP) que combinen, en el mismo espacio, plantas forrajeras, leguminosas, arbustos, árboles y palmas destinados a la producción animal.
- Facilitar a los usuarios la competencia de identificar y caracterizar los diferentes SSP que pueden ser utilizados en la recuperación de áreas degradadas.
- Destacar la importancia del componente arbóreo en los SSP como uno de los factores clave en dichos sistemas y como una variable que puede ser controlada para

1 Establecidas parcialmente por regeneración natural y cuyas podas permitan obtener madera, leña y producir carbón.

recuperar áreas degradadas, incrementar la fijación de carbono y promover la sostenibilidad de los sistemas pecuarios en la región mesoamericana.

- Seleccionar una clasificación funcional de los SSP que permita caracterizarlos en función de su capacidad de rehabilitar o recuperar áreas degradadas a través de sus servicios ecosistémicos.
- Desarrollar la capacidad de diseñar recomendaciones silvopastoriles adoptables en fincas con áreas degradadas.

2.3 Justificación

En la última década se generó mucha investigación en Mesoamérica sobre el papel de los árboles en los SSP y existe el consenso que para la selección del componente arbóreo se deben considerar aspectos como zona de vida, altitud, tipo de especie, densidad de la plantación, uso de las especies arbóreas, y en el caso de especies forrajeras, tener en cuenta además, la producción de forraje, calidad nutricional y palatabilidad, entre otras.

Se acepta que bajo las copas de los árboles en pastizales, los suelos reciben menos luz, tienen temperaturas más estables y mayor fertilidad en comparación con pastizales sin árboles. Bajo los árboles, las concentraciones de nutrientes en el horizonte superficial del suelo, en general, son más altas que en las pasturas abiertas, porque las copas de los árboles protegen el suelo de la lixiviación, promueven la retención de nutrientes con su redistribución en los horizontes del suelo más bajos a través de la hojarasca. Sin embargo, es importante analizar estos aspectos y relacionarlos con el papel y la importancia que tienen en la recuperación de áreas degradadas (con erosión laminar, en cárcavas o en surcos) y la recuperación de fuentes hídricas y cursos de agua.

Los SSP deben responder a las condiciones particulares de cada finca, suelo, clima y de cada productor/a, de ahí la importancia de obtener una versión aplicada de sus definiciones y caracterizaciones para recuperar áreas degradadas y mejorar la sostenibilidad de la finca.

2.4 Definiciones y conceptos

La etapa de las definiciones en el campo de la agroforestería y los sistemas agroforestales, de los cuales los SSP son parte, comenzó en 1979 con la realización de un Taller sobre Sistemas Agroforestales en América Tropical, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica y con la creación, en el mismo año, del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF, *International Center for Research in Agroforestry*) en Nairobi, Kenia. En este contexto, los llamados SSP surgen como respuesta a la necesidad de adaptar los sistemas ganaderos a la realidad de las condiciones de los trópicos húmedos y secos con suelos predominantemente ácidos como los de la región mesoamericana. No solo por ser sistemas viables y adaptables para la mayor parte de la región, si no también por brindar una serie extra de beneficios para la actividad

ganadera y para los productores que los implementen, entre ellas se destaca el atractivo retorno que presentan (Luccerini et ál. 2013).

Hay gran variabilidad en las definiciones y criterios para caracterizar los SSP de acuerdo con el tipo de componente forestal (bosque nativo, regeneración natural o plantación), de la región que se trate (con estación seca, de altura, inundable, etc.) y al grupo de productores que lo implemente (pequeñas, medianas, grandes empresas); por lo tanto, es conveniente y necesario repasar algunos aspectos conceptuales para consensuar criterios de definición.

El concepto silvopastoril se basa en un conjunto de al menos tres componentes: el pecuario (animales domésticos); el herbáceo o pastoril (pasturas naturales o mejoradas); y el arbóreo (leñosas perennes tales como árboles, arbustos y palmas), que lo caracteriza y le agrega el prefijo “silvo” (Figura 1).

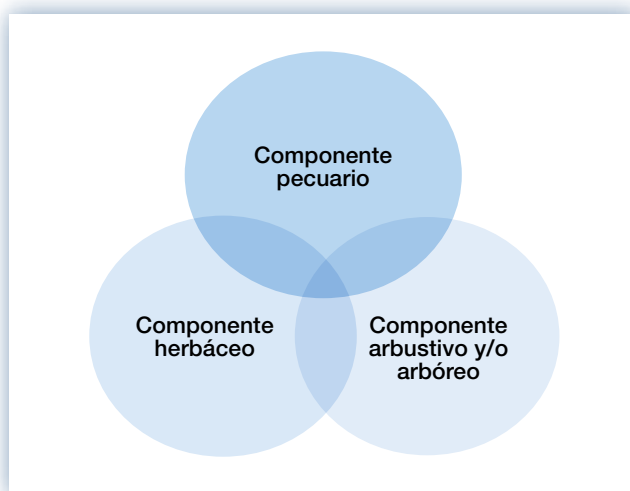


Figura 1. Componentes básicos de un sistema silvopastoril.

Estos componentes interactúan dentro del sistema con una dinámica diferente a la que tendría solo la interacción de los animales con la pastura, debido a que los árboles tendrán un efecto sobre las pasturas, los animales y el suelo; y a su vez, el suelo tendrá un efecto sobre las pasturas y los animales. A lo anterior habría que agregar el efecto del manejo o gestión antrópica de todos los componentes del sistema (Figura 2).

Los SSP como sistemas de uso de la tierra hacen coexistir, en una misma unidad productiva, la ganadería y la actividad forestal, donde se aprovechan las interacciones positivas y se minimizan las negativas. El manejo predial puede actuar en dos niveles: a) la producción primaria (árboles y forrajes); b) la producción secundaria a través del manejo del ganado y el suelo, sin perder de vista que se trata de un sistema, donde los elementos interactúan y se interrelacionan entre sí.

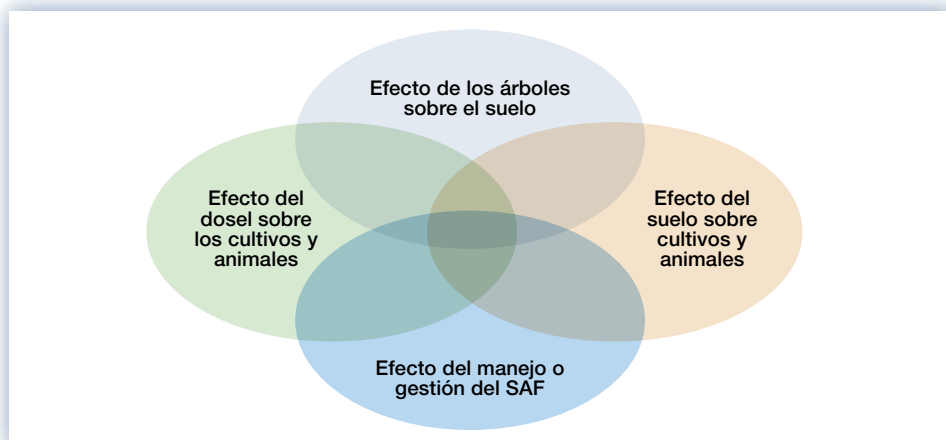


Figura 2. Relación de efectos en un sistema silvopastoril.

Una de las definiciones más difundidas de los SSP es la siguiente:

Un SSP es aquel uso de la tierra y tecnologías en el que un componente arbóreo (leñosas perennes tales como árboles, arbustos y palmas) es deliberadamente combinado en la misma unidad de manejo con un componente herbáceo (pasturas naturales o mejoradas) y un componente pecuario (animales domésticos), incluso en la misma forma de arreglo espacial o secuencia temporal, y en el que hay interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes (Young 1987).

Pero existen otras definiciones, que incorporan otros componentes como el suelo, el clima y el manejo, aunque siguen considerando como primarios el arbóreo (silvo) y el herbáceo o forrajero (pastoril). Algunas definiciones consideran a los SSP como una forma de ganadería alternativa que busca elevar al máximo la eficiencia de procesos biológicos como la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno, el reciclado de nutrientes, la utilización de los forrajes con la finalidad de aumentar la producción de la biomasa forrajera y la producción de carne y leche de mejor calidad. Muchas de estas alternativas surgen de la necesidad de buscar un nuevo enfoque de sustentabilidad.

Los SSP también se pueden definir como una modalidad de agroforestería ganadera, que combina en el mismo espacio, plantas forrajeras como pastos y leguminosas rastreras, con arbustos y árboles destinados a la alimentación animal y otros usos complementarios. En algunas definiciones se presenta la condición de que deben coexistir uno o más estratos de vegetación destinados a la alimentación animal (pastoreo, ramoneo o corte y acarreo) y, por lo menos, otro más para usos maderables, frutales, ornamentales, entre otros. Sin embargo, además de las definiciones conviene hacer algunas reflexiones conceptuales sobre los SSP, que pueden ser vistos como una construcción sociocultural e histórica; porque más allá de sus características biológicas existe un complejo de determinaciones y características económicas, sociales, jurídico-políticas, psicológicas y culturales, que intervienen y los caracterizan. Por otra parte, los SSP son históricos, y en ese sentido son producto de la relación

entre biología, sociedad y cultura, y por ser históricos devienen y presentan una enorme diversidad, que dificulta una definición simple. Adicionalmente, la elección de los objetivos y las escalas de percepción son dos aspectos a considerar en el momento de definir los SSP.

En cuanto a los productores, los objetivos se enfocan a nivel de predio y presentan diferencias según la escala de producción. Mientras que la empresa rural, pequeña, mediana y grande, persigue fundamentalmente rentabilidad a corto y mediano plazo a través de una producción especializada enfocada al mercado; los pequeños productores buscan una mayor diversificación, con fines de autoconsumo y de generación de excedentes para el mercado. Para el primer grupo de productores, el hecho de tener que manejar al menos dos cadenas productivas, es una complicación con respecto a los sistemas de producción puros o simples. En el caso de pequeños productores, los sistemas de uso múltiple son apropiados a su estrategia de producción y reproducción (Carranza y Ledesma 2009).

2.5 El componente arbóreo en los SSP

Los efectos de los árboles sobre el suelo fueron tempranamente presentados por Young (1989) quien identifica y agrupa los principales procesos de cómo los árboles mejoran los suelos en general: 1) aumentan los insumos (materia orgánica, fijación de nitrógeno, absorción de nutrientes); 2) reducen pérdidas (materia orgánica, reciclando y controlando erosión); 3) mejoran las propiedades físicas del suelo, como la capacidad de retener agua y 4) efectos benéficos porque promueven los procesos biológicos del suelo. En la Figura 3 se interpretan los procesos de como los árboles mejoran el suelo.

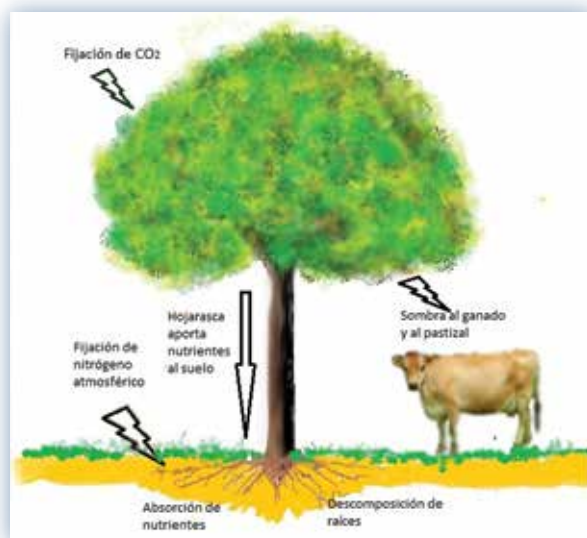


Figura 3. Procesos mediante los cuales los árboles mejoran el suelo.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.6 Efectos de los árboles en los sistemas silvopastoriles

Los efectos de los árboles en los SSP, en general, se resumen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Efectos de los árboles en los sistemas silvopastoriles

1. Los árboles aportan materia orgánica al suelo en forma de hojas, flores, frutos, ramas y raíces muertas que se desprenden periódicamente. Además, absorben elementos en horizontes más profundos y los depositan en la superficie, haciéndolos disponibles para los pastos. En el caso de los árboles fijadores de nitrógeno (AFN) es lógico suponer un beneficio adicional.
2. Los árboles proporcionan un microclima favorable para los animales (sombra y disminución de la temperatura). La magnitud del sombreado depende de la cantidad de árboles por unidad de superficie, el diámetro de las copas y su frondosidad. La sombra protege al animal del excesivo calentamiento por insolación directa y reduce la temperatura ambiental, la cual se relaciona con el balance térmico del animal; una temperatura menor que la corporal se traduce en mayor consumo; aunque es discutido si también en mayor productividad animal.
3. Los árboles pueden competir con la pastura por agua, nutrientes, luz y espacio y el efecto será mayor en la medida que los requerimientos sean similares. La caída natural de las hojas y la poda de ramas modifican los requerimientos y la disponibilidad de agua, luz y nutrientes en los componentes del sistema. La adecuada selección de especies, épocas y frecuencias de podas, puede ayudar a atenuar la competencia o dirigirla convenientemente.
4. Si la carga animal es alta o los árboles están en grupos, debajo de los cuales los animales se concentren en busca de sombra, la compactación de los suelos puede afectar el crecimiento de los árboles y el pisoteo puede afectar la cobertura herbácea y dar origen a focos de erosión.
5. Las preferencias alimenticias de los animales pueden afectar la composición del bosque (con el tiempo predominan las especies no apetecidas por el ganado).
6. La presencia del componente animal cambia y puede acelerar algunos aspectos del ciclaje de nutrientes al retomar al suelo heces y orina.
7. Los animales pueden diseminar las semillas, o escarificarlas, lo cual favorece la germinación y con ello la regeneración natural de las especies arbustivas y arbóreas en las praderas.

Fuente: modificado de Russo (1994).

También se ha observado que el suelo en los pastizales arbolados presenta una densidad aparente inferior a la de las pasturas sin árboles a pesar del alto pisoteo, posiblemente se debe al efecto de la materia orgánica proveniente del reciclaje del mantillo, de las excretas del ganado y a una mayor humedad superficial del suelo. Otro efecto de la presencia de los árboles, es que modifican el ambiente al disminuir la evapotranspiración (disminución de la circulación de aire y aumento de la humedad relativa) y que amortiguan las temperaturas extremas, observado en un experimento silvopastoril en Guácimo, Costa Rica (Carrasco y Martínez 2007).

La presencia de los árboles también produce cambios en el comportamiento de la pastura, tanto en la estructura como en la composición florística, y es aún más manifiesta cuando son árboles fijadores de nitrógeno (Bronstein 1984, Cuadro 2). Las plantas bajo sombra tienen una menor producción de macollos, tallos y hojas, e incrementa el área foliar específica y las relaciones de raíz/tallo y hoja/tallo. Esto puede relacionarse con el efecto de los árboles sobre la fertilidad edáfica, que a su vez tiene efecto sobre la relación raíz/tallo. Marschner (1995) ya señalaba que las plantas tienden a tener una relación raíz/tallo mayor en suelos de baja fertilidad (bajas concentraciones de nutrientes) y relaciones raíz/tallo más bajas en suelos fértiles. Por ejemplo, Hernández et ál. (2008) reafirman el efecto de los SSP en la fertilidad edáfica; y en un caso en Los Tuxtlas, México, Martínez-Sánchez (2006) reporta que los árboles

presentes en los pastizales tuvieron una acción positiva sobre el crecimiento de las plántulas debajo de las copas, por efecto de los nutrientes del suelo, y que la hojarasca producida por los árboles parece afectar la química del suelo debajo de las copas. Sin embargo, diferentes especies arbóreas pueden causar un efecto diferente. También la sobrevivencia de las plántulas es mayor a la sombra de grupos grandes de arbustos (Holl 2002).

Cuadro 2. Producción anual de biomasa (kg MS/ha/año) de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana* y sin árboles en Turrialba, Costa Rica

Tratamiento	Gramíneas	Hoja ancha	Total
Pastura - <i>Cordia</i>	4 087 b	1 003 c	5 090 b
Pastura - <i>Erythrina</i>	9 311 a	1 090 c	10 420 a
Pastura sin árboles	2 632 b	3 299 b	5 931 b

Promedios con diferente letra son diferentes (P < 0,05).

Fuente: Modificado de Bronstein 1984.

2.6.1 Actuaciones propuestas sobre el componente arbóreo

La principal acción propuesta es **incorporar árboles y arbustos en los sistemas de producción pecuaria** tropicales. Los árboles pueden ser maderables, frutales, de uso múltiple, forrajeros, de sombra, para protección de quebradas y cursos de agua, postes vivos para cercas, hileras entre callejones de pasturas y fijación de nitrógeno, entre otros. Mientras que los arbustos pueden ser forrajeros, ya sea bien distribuidos regular o irregularmente en los potreros o agrupados espacialmente en bancos forrajeros para corte o pastoreo directo.

Quienes hablan y escriben en contra de la ganadería tropical, dan una imagen distorsionada del enorme esfuerzo, trabajo duro, alta inversión y baja rentabilidad de producir carne y leche bovinas, bufalinas, caprinas y ovinas en el trópico mesoamericano, el cual se encuentra actualmente en una franca situación de pobreza y de cierto abandono estatal. Desde la percepción urbana, a los ganaderos se los inculpa de atrasados, explotadores, sin conciencia social y mucho menos ambiental.

Las demandas ambientales van desde la masiva deforestación y la consecuente potrerización de los países de Mesoamérica, la compactación y erosión de los suelos. También hay un estudio (Steinfeld et ál. 2009), donde se culpa a los eructos y flatulencias del ganado, en un alto porcentaje, del efecto invernadero causante del calentamiento global con un efecto directo sobre el cambio climático. ¿Tiene la culpa la ganadería de la “potrerización” de las áreas rurales en Mesoamérica? Definitivamente no, para encontrar la causa, basta recordar cuando la política pública promovió la deforestación de grandes áreas que los organismos del estado llamaban improductivas y mal explotadas. En complemento, la revolución verde o también llamada la revolución de los tractores y de los agroquímicos, promovió el mensaje de aumentar

la productividad de los cultivos a toda costa, apoyada en la mecanización intensiva de la tierra arable. Igualmente, el narcotráfico, más recientemente, se ha encargado de incorporar a sus fines delictivos el proceso de deforestación masiva de los bosques de América tropical para sembrar plantas alucinógenas en grandes áreas de cultivo (Lafaurie Rivera 2008).²

Según Murgueitío et ál. (2013) la intensificación ganadera con generación de servicios ambientales debe emplear principios agroecológicos. Los SSP que incluyen la arborización de los potreros son un buen ejemplo de intensificación natural (Burney et ál. 2010). Por otra parte, dichos autores manifiestan que los principios agroecológicos que deben estar presentes en la ganadería silvopastoril son la intencionalidad, intensividad, integralidad e interactividad. Adicionalmente, con la reciente preocupación sobre la adaptación al cambio climático de la ganadería, el componente arbóreo cobra importancia, por la facilidad relativa de su incorporación y manejo por parte de las poblaciones de la región mesoamericana, así como los servicios ambientales que pueden ofertar los productores ganaderos (captura de carbono y biodiversidad alcanzados con la incorporación de árboles) y la forma en que varios proyectos permiten combinar incentivos para la urgente transformación de la ganadería convencional en modelos silvopastoriles sustentables que favorecen la adaptación al cambio climático.

2.7 Clasificación y caracterización de los sistemas silvopastoriles (SSP)

Si se asume que clasificar significa agrupar objetos con características similares, los SSP se pueden agrupar en función de cuál es el enfoque u objetivo principal del sistema en dos conjuntos principales:

- 1) con enfoque forestal; y
- 2) con enfoque ganadero. A su vez en cada enfoque se subagrupan en:
 - a) Aquellos SSP con enfoque forestal
 - Pastoreo de plantaciones
 - Pastoreo en huertos
 - b) Aquellos SSP con enfoque ganadero
 - Árboles aislados en potreros y silvopasturas
 - Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi)
 - Silvopasturas en callejones
 - Cercas vivas
 - Bancos forrajeros con especies arbóreas para corte y acarreo

2 Presidente Ejecutivo de la Federación Colombiana de Ganaderos, FEDEGAN.

Por supuesto, en cada caso podrían hacerse subgrupos; por ejemplo, en Moroponte, Nicaragua, Casasola et ál. (2000) caracterizaron los SSP tradicionales en cinco categorías: 1) Potreros con baja densidad de carbono (< 30 fustales/ha); 2) Potreros con alta densidad de carbono (> 30 fustales/ha); 3) Potreros con robles (*Quercus* spp.); 4) Matorrales y 5) Bosques con predominancia de robles. Pero a los efectos del presente manual seguiremos la clasificación planteada.

2.7.1 Caracterización de los SSP con enfoque forestal

En este grupo, el objetivo principal del sistema es la producción forestal que incluye madera, leña, materia prima para celulosa y papel. El componente arbóreo está formado generalmente por plantaciones forestales, y eventualmente bosques secundarios o parches de regeneración natural en potreros. Mientras que la producción pecuaria se presenta como ventana de oportunidad para aprovechar el pasto existente y mantener limpia una plantación, para reducir el riesgo de incendios forestales estacionales y dar valor agregado al manejo forestal.

2.7.1.1 Pastoreo de plantaciones

El pastoreo de una plantación es gradual y conforme los árboles crecen y reciben manejo silvicultural, toleran mejor la presencia del ganado. Debido a los daños que puede ocasionar, no es conveniente introducir ganado en los primeros años de la plantación. La regulación de la carga animal es importante para evitar la compactación del suelo y su efecto negativo sobre el crecimiento de los árboles. Si bien, la producción de pastos es menor con la sombra de los árboles, la ocurrencia de gramíneas y latifoliadas forrajeras se presenta como una oportunidad para pastorear ganado, sobre todo, en plantaciones para madera de aserrío, donde se plantan inicialmente altas densidades (de 800 a 1 200 árboles/ha) y se ralean hasta llegar a densidades finales bajas (de 150 a 300 árboles/ha) para obtener fustes con diámetros comercialmente aserrables.



Figura 4. Silvopastura con palmas (*Cocos nucifera*) en playa Venado, Provincia de Herrera, Panamá. Foto: Raúl Botero.

El momento oportuno para incorporar el pastoreo en las plantaciones es, después de un primer raleo del 50%, cuando la población de árboles es menor (unos 400 árboles/ha) y con un diámetro a la altura del pecho (DAP) que les proteja de ser quebrados o tumbados por el ganado (12-15 cm de DAP). En estas condiciones el pastoreo solo es posible durante períodos cortos de tiempo y con bajos niveles de carga animal.

2.7.1.2 Pastoreo en huertos

El pastoreo en huertos con árboles frutales o leñeros (plantaciones energéticas) se realiza con el fin de controlar las malezas y obtener un valor agregado durante el crecimiento de la plantación. Si se trata de un huerto frutal para el manejo del SSP, se debe considerar que haya suficiente espacio entre los árboles y que los animales no dañen los árboles ni la cosecha. Otro aspecto a tener en cuenta es impedir que los vacunos se “atraganten” con la fruta caída al suelo, por ejemplo: cítricos, mangos o aguacates. Algunos ejemplos son el pastoreo de plantaciones de *Cocos nucifera* y *Bactris gasipaes* con bovinos en la vertiente Atlántica y el pastoreo con ovinos de *Mangifera indica* en la vertiente del Pacífico.

En el caso de huertos leñeros o dendro-energéticos, cuya función es la producción de leña para consumo doméstico, el pastoreo es posible cuando la densidad de la plantación lo permite. Ejemplos pueden verse en Guatemala y Nicaragua.

2.7.2 Caracterización de los SSP con enfoque ganadero

2.7.2.1 Árboles aislados en potreros y silvopasturas

Los árboles dispersos en los potreros son elementos comunes del paisaje en Mesoamérica y son una estrategia rápida y fácil para introducir árboles a bajo costo en las fincas ganaderas. Se caracterizan por la interacción simultánea del ganado, el pasto y los árboles o palmas (pastoreo directo) que puede ser regulado con el manejo de la carga animal, el tamaño del potrero y el tiempo de permanencia de los animales en el potrero.

En la mayoría de los casos los árboles son provenientes de regeneración natural y se los ha dejado crecer en densidades que no afecten el crecimiento de la pastura, en un rango de 10 a 70 árboles por hectárea, pero puede alcanzar hasta 100; con rangos de área basal³ (AB) de 1 a 7 m²/ha, aunque algunos autores mencionan que se pueden tener hasta 200 árboles/ha (Uribe et ál. 2011). Para el establecimiento de este sistema, se permite el desarrollo controlado de diferentes especies arbóreas o arbustivas que aparecen por regeneración natural en los potreros, donde las semillas han sido diseminadas por animales,

3 Área basal (AB) es la sumatoria de las áreas transversales (a 1,3 m del suelo) de todos los árboles existentes en una hectárea y se expresa en metros cuadrados por hectárea (m²/ha). P. ej. una silvopastura con 100 árboles/ha de *Cordia alliodora* con un diámetro promedio de 30 cm alcanza un AB de 7 m²/ha.

el agua o el viento. Se seleccionan, protegen, podan y fertilizan los árboles o arbustos valiosos de acuerdo con su uso: madera, leña, frutos para alimentación humana y/o animal, forrajeros, leguminosos o para sombra. Asimismo para la protección de fuentes de agua y de zonas frágiles.

Los árboles en los potreros contribuyen a mejorar el funcionamiento de los sistemas ganaderos, promueven la recuperación del suelo (control de erosión, fertilización, reciclaje de nutrientes), regulan las plagas de insectos y contribuyen a la conservación del agua y a la captura de carbono. De esta manera, crecen los servicios ambientales y se producen beneficios económicos que pueden ser valorados por los costos eludidos en el mantenimiento de las fincas ganaderas (Zuluaga et ál. 2011).



Figura 5. Árboles en pastizales en la región Caribe de Nicaragua. Foto: Ricardo Russo.

En un estudio reciente realizado en dos localidades de Costa Rica (Cañas y Río Frío) y dos de Nicaragua (Rivas y Matiguás), se encontró que los árboles dispersos en potreros eran comunes en los cuatro paisajes, con un rango de densidades de 3 a 74 árboles por hectárea. Ee descubrió además que en los cuatro paisajes, los agricultores tenía un conocimiento detallado de atributos sobre los árboles que afectan los pastos y la productividad animal (Harvey et ál. 2010, Chacón y Harvey 2013).

Otros beneficios de los SSP mencionados por Murgueitío e Ibrahim (2001) son: una mayor producción y calidad de la biomasa forrajera disponible por unidad de área, un mejor y mayor reciclaje de nutrientes, una disminución en el requerimiento de fertilizantes para las gramíneas, un microclima benéfico para el ganado que dispone de un hábitat donde se desarrolla mejor, sin exceso de calor o de lluvia; finalmente, una recuperación de la entomofauna y avifauna local y migratoria; y, en el mediano y largo plazo, se obtiene madera y frutos para diferentes usos.

Cuadro 3. Características y biomasa arriba del suelo de los árboles dispersos en potreros de cuatro localidades de Centroamérica: Cañas y Río Frío, Costa Rica; Rivas y Matiguás, Nicaragua. 2002-2003

Características	Costa Rica		Nicaragua		Los cuatro paisajes
	Cañas	Río Frío	Rivas	Matiguás	
# de fincas donde se realizó el inventario	16	16	12	15	59
# total de árboles registrados	5 831	2 481	2 290	7 181	17 783, 0
Rango de la biomasa arriba del suelo (ton/ha)	3,0 – 23,3	3,4 – 25,7	0,9-19,5	2,8 – 45,4	0,9-45,4
Promedio de la biomasa arriba del suelo (ton/ha)*	10,2±1,3a	12,4±1,0a	5,3±1,5b	13,5 ± 3,5a	10,7±1,1
Rango de densidad de árboles (árboles/ha)	3,1-16,9	7,3-44,6	2,7-67,0	4,2-74,5	2,7-74,5
Promedio de árboles en potreros (árboles/ha)	7,8±1,0c	23,1±3,0ab	16,8±5,1bc	30,1±5,7a	19,5±2,2
Rango del área basal (m²/ha)	0,5-3,2	0,8-4,5	0,2-3,4	0,3-3,7	0,2-4,5
Promedio área basal (m²/ha)	1,6±0,2b	2,6±0,3a	1,0±0,2b	1,3±0,3b	1,7±0,2

La producción de madera es otro de los beneficios de los SSP, principalmente de los árboles dispersos en potreros cuando se tiene un plan de manejo y aprovechamiento. La cantidad de árboles en potreros varía con el grado de tecnificación de las fincas ganaderas (López y Detlefsen 2012). Por ejemplo, en un sistema de producción extensiva de carne en la zona Caribe de Costa Rica, es común la presencia de *Cordia alliodora* de regeneración natural en pastizales naturales de *Ischaemum indicum*, y se mantiene una densidad de alrededor de unos 100 árboles por hectárea, con un turno de corta de 25 años. Se aprovechan secuencialmente cuatro árboles por año, que rinden de 3,8 m³ de madera en pie, cuyo valor representa un ingreso adicional de casi un 60% de la venta de novillos⁴ (observaciones de los autores).

4 Considerando una producción media de carne de 200 kg/ha/año que se vende en el mercado local a 2,2 USD/kg en pie.

En una evaluación del componente arbóreo en pastizales de Cañas, Costa Rica, se encontraron árboles dispersos y cercas vivas en el 93 y 88% de las fincas, respectivamente (Villanueva et ál. 2003b). Además, se determinó que las especies maderables representaban el 32% del total de árboles encontrados como árboles dispersos. Las especies maderables predominantes fueron *T. rosea* (12,8%) y *C. alliodora* (12%). En cercas vivas, el componente maderable representó el 30% del total de árboles registrados (Villanueva et ál. 2003a); la especie más frecuente fue *Pachira quinata* (27,6%). A partir de encuestas aplicadas a los productores, se determinó que aprovechan los árboles provenientes de los potreros (36%), muy pocas veces los de cercas vivas (1%) y nunca los del bosque (Villanueva et ál. 2003b). El 48% de los árboles dispersos encontrados en las fincas evaluadas tenían un diámetro mayor a 40 cm, lo que evidencia la disponibilidad de árboles aptos para el aprovechamiento. Sin embargo, según López y Detlefsen (2012), el manejo selectivo de los productores, quienes tienden a conservar únicamente los individuos adultos, podría poner en peligro este valioso recurso.



Figura 6. Silvopastura de *Ischaemum indicum* con árboles de *Cordia alliodora* (laurel). Finca Bananito, Limón, Costa Rica. Foto: Raúl Botero.

2.7.2.2 Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi)

Son áreas de pastizales donde deliberadamente se establecen especies forrajeras arbóreas y arbustivas en altas densidades para pastoreo directo. Este modelo fue desarrollado en Colombia por el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) con resultados productivos muy alentadores (CIPAV 2009, Uribe et ál. 2011, Murgueitio et ál. 2013) y también se presentan en México con *Leucaena leucocephala* (Bacab et ál. 2013). Dentro de las opciones para el establecimiento de SSPi se menciona:

El sistema silvopastoril con Botón de oro *Tithonia diversifolia* en franjas con densidades de 5 000 a 7 000 arbustos por hectárea.

El sistema silvopastoril intensivo de alta densidad con 10 000 arbustos por ha de *Leucaena leucocephala*, se plantean arreglos con árboles asociados a la siembra de la leucaena como el eucalipto (*Eucalyptus grandis*). A los que se podría agregar otras especies arbustivas como: *Cratylia argentea*, *Morus alba*, *Sambucus peruviana*, etc. y arbóreas como *Erythrina* spp., *Gliricidia sepium*: *Clytorea fairchildiana*; *Acacia aneura*; *Pseudosamanea guachapele*; *Samanea saman*; *Enterolobium cyclocarpum*, *Prosopis juliflora*; *Pithecellobium dulce*, etc. En el caso de que el lote no posea árboles establecidos, deberán plantarse con plántulas provenientes de un vivero, en líneas con dirección al recorrido del sol (oriente a occidente) y en tres bolillo para un mayor ingreso de luz hacia el estrato del suelo de la silvopastura, conseguir una fotosíntesis más eficiente y reducir o aún eliminar la erosión hídrica y eólica.



Figura 7. Sistema silvopastoril intensivo de *Ischaemun indicum* con *Gliricidia sepium*, recientemente establecido en Guácimo, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.

Los árboles multipropósito deberán sembrarse a distancias de entre 4 x 4 metros a 10 x 10 metros, es decir, con densidades de entre 625 y 100 árboles por hectárea, dependiendo de las especies incluidas en la mezcla, de la humedad del suelo, del tamaño y de la densidad de su copa. Posteriormente se siembran los arbustos a distancias de entre 2 x 2 a 1 x 0,5 en alta densidad de entre 2 500 a 20 000 arbustos por hectárea y 45 días después se siembran, entre las líneas de los arbustos y árboles: las gramíneas,

las leguminosas y otras plantas herbáceas en toda la cobertura del suelo, bien sea por semilla o por material vegetativo. Seis a ocho meses después de terminada la siembra, la silvopastura ya está establecida y puede iniciarse su utilización con animales en pastoreo rotacional intensivo.



Figura 8. Sistema silvopastoril intensivo en pastizal natural de *Ischaemum indicum* con árboles de *Erythrina fusca* en Guácimo, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.



Figura 9. Sistema silvopastoril intensivo de *Tithonia diversifolia* y *Cynodon plectostachyus* manejado con cerca eléctrica y con conservación del bosque ribereño en la microcuenca. Finca La Esperanza, Pereira, Colombia. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Foto: Fernando Uribe, CIPAV 2014.

2.7.2.3 Silvopasturas en callejones

Una silvopastura en callejones consiste en un área de potreros donde se establecen hileras de árboles y/o arbustos simples, dobles, triples o en bloques y se dejan callejones o espacios abiertos, entre ellas, para la producción del forraje. Para iniciar el establecimiento de los árboles en el interior de los potreros se recomienda hacerlo por el sistema de franjas: corredores de dos metros de ancho y 50 a 100 metros de longitud, en surcos distanciados cada 10 a 20 metros, aislados inicialmente con cerca eléctrica y en dirección cardinal con el recorrido del sol (oriente a occidente) para evitar la sombra refleja y aumentar la eficiencia fotosintética sobre la cobertura inferior de la pastura.

En el interior de los surcos se plantan arbolitos cada cuatro metros. En los espacios entre los árboles se recomienda plantar botón de oro *Tithonia diversifolia*; *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*); morera *Morus alba* y/o cratilia *Cratylia argentea*, cuyas ramas son muy flexibles, lo que impide que los animales las quiebren y destruyan los arbustos durante el ramoneo. Este proceso se debe iniciar en aquellos potreros en los que la presencia de árboles es muy baja o inexistente.

Estas silvopasturas en callejones pueden ser una fuente de madera cuando en la hilera de arbóreas se incluye una de árboles maderables con la especie conveniente seleccionada. Por ejemplo, en el caso de la Figura 10, también se estableció en las hileras múltiples *Swietenia macrophylla*, que fue severamente atacada por *Hypsipyla grandella* y hubo que reemplazarla al tercer año por *Bactris gasipaes*, *Hieronyma alchorneoides*, lo que retrasó considerablemente el ingreso de ganado en esos callejones.



Figura 10. Silvopastura en callejones con hileras de *Bactris gasipaes* y *Cratylia argentea*. Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.

2.7.2.4 Cercas vivas (CV)

Las cercas con postes vivos (CV) en fincas ganaderas son plantaciones lineales de especies arbóreas (maderables, frutales o de uso múltiple), conformadas por una sola hilera de árboles, que se utilizan para dividir potreros (apartos) dentro de la finca o, perimetralmente, para delimitar propiedades, casi siempre se complementan con el uso de alambre de púas. Pueden tener una estructura simple (una sola especie) o compleja (dos o más especies). Las CV con estructura compleja pueden diseñarse a partir de la combinación de especies que ofrezcan bienes y servicios diferentes (forraje, madera, hábitat para la fauna), para maximizar la eficiencia de los sistemas productivos. Sin embargo, su uso ya tiene un carácter múltiple que aparte de delimitar los terrenos, en función de las especies, puede obtenerse forraje, leña y postes. Sin embargo, su uso en establecimientos ganaderos las relaciona con los SSP de los cuales son parte. Este tema es ampliamente tratado en el Módulo agroforestal. Somarriba (2001) diagramó un modelo de las interacciones de una cerca viva de *Erythrina berteroana* en un potrero de *Cynodon dactylon* pastoreado con vacas lecheras en una zona tropical húmeda (Figura 11).

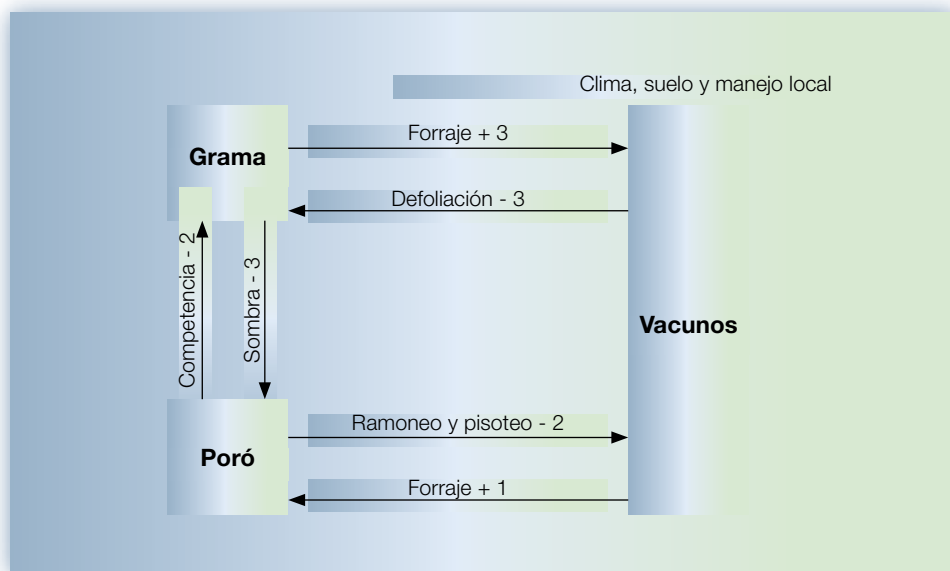


Figura 11. Modelo de las interacciones de una cerca viva de *Erythrina berteroana* en un potrero de *Cynodon dactylon* pastoreado con vacas lecheras en una zona tropical húmeda.

Fuente: Somarriba 2001.

Las CV pueden utilizarse en todo tipo y tamaño de fincas, pero son particularmente útiles en fincas pequeñas, porque además de la producción de bienes y servicios, son una fuente de forraje cuando se utilizan especies forrajeras como las de los géneros *Erythrina*, *Gliricidia*, *Morus*, entre otras o se combinan con arbustivas como *Cratylia*, *Flemingia*, *Leucaena*, *Trichanthera*, *Tithonia*, *Boehmeria*, entre otras.

Las cercas vivas y otras plantaciones lineales, tales como cortinas rompevientos y árboles en linderos, son una alternativa para obtener madera cuando se incluyen especies de valor maderable y se las maneja en forma adecuada, aplicando, desde su establecimiento, prácticas silviculturales y con poda de ramas para obtener buen crecimiento de los árboles y obtener fustes de calidad comercial. Entre esas prácticas, se deben tener en cuenta aspectos como las distancias de plantación, los raleos y las podas, sobre todo esta última para obtener fustes libres de nudos. En el mismo sentido, se debe evitar fijar el alambrado con grapas metálicas, plantando las especies maderables no en la misma línea que la utilizada como postes vivos de la cerca. Un ejemplo de aprovechamiento maderable en la subcuenca del río Copán, en Honduras, fue presentado por Chavarría 2010 y Chavarría et ál. (2011), quienes se encontraron fincas con cercas vivas de eucalipto, que presentaron valores promedio de 196 árboles/km de cerca, diámetros a la altura del pecho de 28 cm y alturas de 18,9 m, con un volumen comercial de 100,2 m³/km.

Finalmente, una de las ventajas para la promoción de las CV en el proceso de restauración, es que existe un conocimiento empírico de los agricultores sobre ellas, lo que favorece su aceptación. Las CV pueden ser implementadas, tanto en zonas secas y semiáridas, como en zonas húmedas. Se debe tomar en cuenta que las cercas vivas necesitan un manejo adecuado para que sean sostenibles.



Figura 12. Sistema silvopastoril con cercas vivas en Río Frío, Sarapiquí, Costa Rica. Foto: Hairon Vargas.



Figura 13. Cercas vivas, recientemente podadas, de *Erythrina berteroana* en potreros. Foto: Vesalio Mora.



Figura 14. Postes vivos en cercas de *Erythrina berteroana* y *Bursera simaruba* con aisladores plásticos para evitar que la corteza se "trague" el alambre. Foto: Raúl Botero.



Figura 15. Cercas vivas de *Erythrina berteroana* en potrero, con animales ramoneando rebrotes. Foto: Vesalio Mora.



Figura 16. Cercas vivas de *Erythrina fusca* en praderas de *Panicum maximum* cv. Mombaza, en la Fortuna de San Carlos, Costa Rica. Foto: Raúl Botero.

2.7.2.5 Bancos forrajeros con especies arbóreas para corte y acarreo

Los bancos forrajeros con especies arbóreas para corte y acarreo pueden ser solo de especies arbóreas (Figura 17) o un banco forrajero mixto (BFM), con leñosas arbustivas de alto valor nutricional, con más de 15% de proteína, y gramíneas forrajeras que aportan energía. El 75% del banco debe estar constituido por forrajes proteicos (más del 15% de proteína), que aportan aproximadamente la tercera parte de la biomasa que se ofrece a los animales. El 25% restante lo conforman los forrajes energéticos, gramíneas forrajeras como los pastos de corte y la caña de azúcar, que aportan las dos terceras partes de la biomasa ofrecida a los animales. Se deben calcular los requerimientos diarios de forraje verde para los animales por suplementar, tomando como valor entre el 12% al 15% del peso vivo del animal.

Para vacas próximas al parto, en el primer tercio de la lactancia, terneros y destetos se calcula un nivel de suplementación del 20% del peso vivo. De esta manera se obtienen la cantidad de forrajes proteicos y energéticos por suplementar. Para el ingreso cómodo de los cosechadores para el corte y acarreo, en el caso de BFM, la siembra debe ser con mezcla de varias especies forrajeras y en surco doble a 1 m x 1 m, y calles con 1,5 a 2,0 m de ancho, dependiendo de las especies. Se deben asociar gramíneas, leguminosas y otras plantas forrajeras herbáceas, arbustivas y arbóreas para fijar nitrógeno y carbono, lograr una alta cobertura con buena utilización de la radiación solar y biodiversidad, lo cual contribuye a reducir el control de plagas y enfermedades.



Figura 17. Banco forrajero de *Morus alba* recientemente podado, en Ochomogo, Costa Rica. Foto: Ricardo Russo.

Para calcular la cantidad de forraje que se debe cortar diariamente hay que tener en cuenta el volumen que se produce por m² y los requerimientos por animal/día. A este resultado se suma el 10% por rechazo y pérdidas de forraje. Teniendo la cantidad total por suministrar diariamente, se debe considerar que el 75% debe ser energético como la caña de azúcar y los pastos de corte, y el 25% restante debe ser proteico como: *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Cratylia argentea*, *Tithonia diversifolia*, *Morus alba*, *Trichanthera gigantea* y *Sambucus peruviana*, entre otros.

El BFM es un cultivo intensivo y requiere de fertilización constante. Después de cada corte se le debe aplicar materia orgánica al suelo entre 1 a 1,5 ton/ha. Si se utiliza estiércol fresco debe regarse alrededor de cada planta a una distancia de 30 a 50 cm para evitar quemaduras (Uribe, F. et ál. 2011).

La frecuencia de corte es un aspecto importante por considerar en los BFM porque influye en la digestibilidad del forraje y la biomasa digerible. En un banco forrajero con *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* y *Morus alba* en Guácimo, Costa Rica, se observó que la digestibilidad decrece (Figura 18) con respecto a la edad de rebrote (frecuencia de cosecha de material forrajero); y que si bien no hay diferencias de producción de biomasa y biomasa digerible entre leguminosas y no leguminosas, ni entre especies dentro del grupo, sí las hay por la edad de rebrote (Soto et ál. 2009).

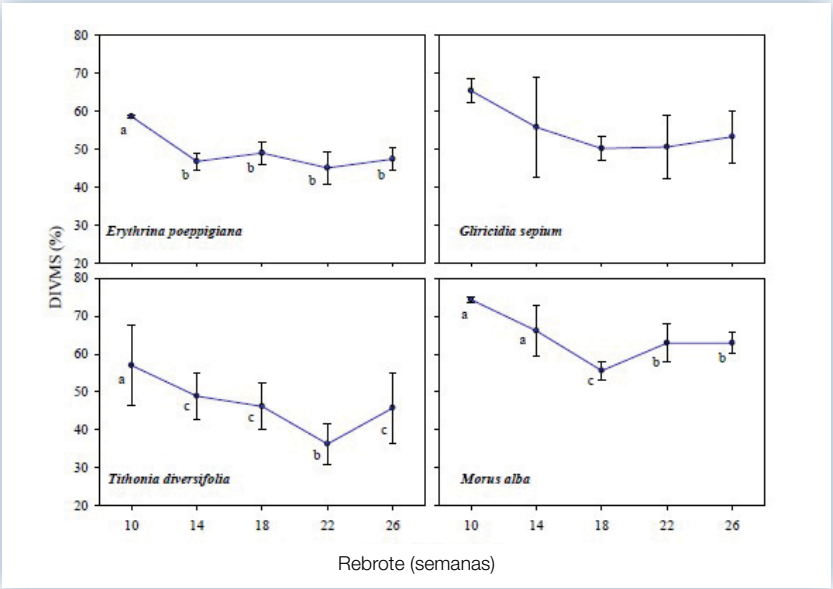


Figura 18. Efecto de la edad de rebrote en la digestibilidad *in vitro* de la biomasa total en cuatro especies en un banco forrajero, Guácimo, Costa Rica. Fuente: Soto et ál. (2009).



Figura 19. Banco de forraje con botón de oro *Tithonia diversifolia*. Foto: archivo CIPAV.

2.8 Aspectos de fertilidad del suelo en los SSP

La conservación del suelo se basa en un balance de nutrientes, entre la cantidad presente en el perfil, la cantidad que extraen los forrajes y la eficiencia de la absorción por las plantas. Un suelo sometido a pastoreo continuo pierde su fertilidad al disminuir la reposición de los nutrientes, ya sea en forma de excretas, fertilizantes (orgánicos e inorgánicos), residuos de forrajes o una combinación de estos insumos (Salas y Cabalceta 2009). Por esta razón, es importante la presencia de árboles en los pastizales por sus aportes al suelo. Por ejemplo, en suelos ácidos de Panamá la plantación de *Acacia mangium* en potreros del pasto *Brachiaria humidicola* no solo mejoró la calidad del forraje, sino también los contenidos de fósforo y nitrógeno en comparación con los monocultivos de la misma especie de gramínea. Asimismo, durante la estación lluviosa, la densidad de organismos en el suelo fue mayor en áreas con una densidad de plantación de 240 árboles de *A. mangium* por hectárea (Bolívar 1998).

En las tierras altas (1 300-2 500 msnm), *Alnus acuminata* es una especie arbórea promisoría para la restauración de la fertilidad en pasturas degradadas por su asociación con bacterias filamentosas fijadoras de nitrógeno (*Frankia alni*) y hongos micorrícicos arbusculares (endomycorizas) en sus raíces (Russo 1989, 1990).

En un caso en Colombia, en la Reserva Natural El Hatico (Molina-Durán 2012), la producción de leche aumentó en un 126% en las silvopasturas enriquecidas con *Leucaena*, desde el inicio del año 1996 (desde 7 436 lt/ha/año) hasta terminar el año 2001 (con 16 798 lt/ha/año), durante los seis años, en los que se enriquecieron las silvopasturas, mediante la introducción de la *Leucaena*. A partir del año 2001 y hasta el año 2011 (durante los últimos 11 años) la producción promedio de leche se mantuvo estable en un promedio de 16 285 lt/ha/año, equivalente a un incremento promedio del 119%, comparando con el año inicial 1996 (Figura 20).

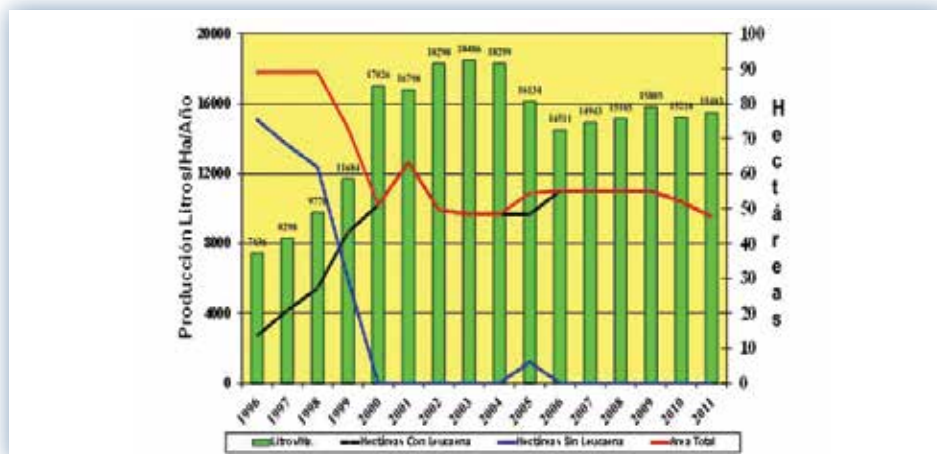


Figura 20. Aumento en la producción de leche atribuible a la presencia de árboles de *Leucaena leucocephala* en pastizales de la Reserva Natural El Hatico, Colombia. Fuente: Molina-Durán 2012.

2.9 Oportunidades de los sistemas silvopastoriles

Los SSP presentan oportunidades económicas, productivas, sociales y ambientales (Iglesias et ál. 2011).

En lo económico, la diversificación de la producción posibilita obtener ingresos a corto, mediano y largo plazo y atenuar las fluctuaciones de precios y mercado de los productos. Asimismo, genera ingresos adicionales por la producción de madera y derivados.

En lo productivo, tanto las pasturas como los animales se ven beneficiados por los efectos de la sombra y el abrigo. La disminución del estrés calórico en los animales permite mayor ganancia diaria por animal, que en aquellos sin disponibilidad de sombra. A su vez, el abrigo disminuye los requerimientos de energía para el mantenimiento y la evapotranspiración de las pasturas por efecto de la sombra.

En lo social, son menos las referencias encontradas, pero se considera de importancia por incrementar la calidad de vida de la población rural en límites de pobreza. Este grupo es más vulnerable a las variaciones climáticas, de mercado y a las enfermedades, entre otras.

En lo ambiental, tenemos un espectro amplio de servicios ecosistémicos, pero se destaca en este manual la importancia de los SSP para recuperar áreas degradadas. Sobre todo, considerando las enormes extensiones de áreas y pasturas degradadas en la región Mesoamericana. Los SSP permiten la recuperación de áreas y pasturas degradadas a través de la restitución parcial de la productividad del suelo. Adicionalmente, y gracias al consumo de forrajes con mayor calidad y degradabilidad, se reduce la emisión de gases de efecto invernadero desde el sistema digestivo de los rumiantes hacia la atmósfera.

2.10 Restauración de áreas degradadas

Se definen como áreas degradadas aquellas tierras previamente boscosas que fueron severamente dañadas por la extracción excesiva de madera, productos agrícolas y forestales no maderables; prácticas deficientes de manejo, incendios reiterados, el sobrepastoreo de ganado, u otras alteraciones o usos de la tierra que dañan el suelo y la vegetación, en tal grado, que se inhibe o retrasa seriamente el restablecimiento del bosque después de su abandono (OIMT 2005).

El proceso de restauración pasa por el restablecimiento de la cobertura forestal y de la vegetación que protege la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea de la lluvia o de la escorrentía, debido a que: a) el dosel intercepta y absorbe la energía de las gotas de la lluvia por las hojas y los residuos (hojarasca) de las plantas; b) incrementa la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua de lluvia en el suelo, debido al mejoramiento de la estructura y porosidad por las raíces; c) reduce la velocidad del agua de la escorrentía por el colchón de hojarasca; y d) los fustes de los árboles y tallos de los arbustos, conducen el agua interceptada por el dosel hasta el suelo a bajas velocidades (García 1999).

Para rehabilitar las áreas degradadas es fundamental sensibilizar a los ganaderos sobre los SSP por tratarse de un tipo de cobertura vegetal importante en el proceso de rehabilitación de los suelos, al combinar, en el mismo espacio, plantas forrajeras, leguminosas, arbustos, árboles y palmas destinados a la producción animal. Sin duda, el panorama es complejo. No se ha podido, o solo de forma muy limitada, encontrar una forma rápida de recuperar un área degradada, ya sea por inconvenientes técnicos o de financiamiento. El establecimiento de los SSP se convierte en una herramienta idónea para la recuperación de dichas áreas.

Este proceso de recuperar un área degradada con los SSP debería estar relacionado con los programas de pagos por servicios ambientales (PSA), desarrollados en Mesoamérica. La gama de consumidores es amplia. En el ámbito mesoamericano, pueden ser individuos o grupos de individuos, a nivel local o nacional, usuarios de servicios producidos por la conservación del agua y del suelo. Pero también pueden ser empresas privadas internacionales interesadas en promover servicios como la provisión de agua, la conservación de la biodiversidad y la fijación de carbono.

Los SSP entran en el marco de dos grandes iniciativas, una conocida como el *Desafío de Bonn*, que se impulsó en septiembre de 2011 en Bonn, Alemania, por la Alianza Mundial para la Restauración del Paisaje Forestal, encaminado a restaurar, de aquí al año 2020, 150 millones de hectáreas de tierras deterioradas y deforestadas que contribuirá a la actual Meta 15 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (restaurar como mínimo el 15% de los ecosistemas deteriorados del planeta de aquí a 2020) y a la meta REDD+ del CMNUCC (aminorar, detener y revertir la deforestación y la pérdida de carbono forestal).

2.11 Conservación de la biodiversidad

Más de la tercera parte de las pasturas en Mesoamérica se encuentran en algún estado de degradación. La restauración de estas áreas es una posibilidad con la siembra de árboles y arbustos de propósito múltiple que, además de proporcionar beneficios ambientales, hacen sostenibles los sistemas ganaderos. Para incrementar la resiliencia de estos sistemas se necesita fomentar prácticas de manejo con especies leñosas con mayor diversidad funcional (por ejemplo tolerancia a la sequía, mayor valor nutricional, mejoramiento de la fertilidad de suelos, entre otros) para potencializar la generación de bienes y servicios ecosistémicos.

Ante esta situación, el CATIE realizó una serie de estudios que muestran que los SSP ofrecen una serie de bienes y servicios ecosistémicos como la producción de productos maderables para uso en la finca y/o la venta, asociado a una menor presión del recurso bosque; son una fuente de alimento por medio de follajes y/o frutos para el ganado en la época seca, lo cual mejora su dieta y podría reducir la emisión de metano; protección y restauración de suelos que favorece la retención de carbono; y constituyen una fuente de sumidero de carbono que según las especies y densidad de leñosas pueden superar las 4 t C/ha/año. Igualmente, los SSP minimizan la contaminación física, química y biológica de fuentes de agua y contribuyen con la conservación de la biodiversidad. Asimismo, los sistemas silvopastoriles mejorados (nuevos diseños) contribuyen a mejorar la competitividad de la ganadería, la diversificación y el fortalecimiento de los medios de vida de las familias rurales.

2.12 Actuaciones propuestas sobre restauración de áreas degradadas

Dice Stewart Maginnis⁵: restaurar 150 millones de hectáreas en los próximos 10 años podría reducir el “déficit de reducción de las emisiones” entre un 11 y un 17%, e inyectaría más de 85 000 millones de dólares anuales en las economías locales y nacionales.

La rehabilitación de áreas degradadas (forestal y paisajísticamente) por medio de los SSP convierte las áreas estériles o deterioradas en paisajes fértiles, sanos y productivos, que pueden satisfacer de forma sostenible las necesidades de la población y del medioambiente natural.

5 Director Mundial de Soluciones basadas en la naturaleza en la UICN.

Cuadro 4. Grado de degradación de un pastizal

Grado de degradación	Porcentaje de área con especies invasoras
Productiva	0-10%
Degradación leve	11-35%
Degradación moderada	36-60%
Degradación avanzada	> 61%

Fuente: adaptado de Padilla et ál. 2009.

Se propone el establecimiento de los SSP como una alternativa de uso de la tierra con un enfoque restaurativo-productivo de manejo y conservación de suelos, con énfasis en la arborización de potreros y áreas degradadas, teniendo en cuenta todas las formas silvopastoriles (reforestación, regeneración natural, plantaciones perimetrales, cercas vivas, cortinas rompevientos, entre otros).

Los SSP establecidos por regeneración natural y/o por la reforestación con hierbas, arbustos y árboles de uso múltiple, aunque su establecimiento demanda una alta inversión inicial, protegen los suelos, mejoran sus condiciones físico-químicas, aumentan su fertilidad, evitan su compactación, mejoran la infiltración, reducen la erosión, inmovilizan carbono, fijan nitrógeno, incrementan la repoblación y biodiversidad de insectos, aves y mamíferos, aumentan la producción, la calidad nutritiva y la digestibilidad de los forrajes consumidos por los rumiantes, aumentan la producción de carne, leche, pieles, madera, frutos, productos industriales, etc., generan empleo y bienestar social y reducen la emisión de gases de efecto invernadero, entre otros. De la misma manera garantizan una alta rentabilidad a largo plazo. Por ello, se deberán concentrar esfuerzos en financiar proyectos silvopastoriles, como la opción más viable desde el punto de vista social, ambiental, productivo y financiero.

Además de contribuir a la rehabilitación de áreas degradadas, los SSP tienen efecto en la recarga hídrica en paisajes ganaderos. Ríos et ál. (2008) estudiaron el impacto de los SSP sobre el recurso hídrico en zonas de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica, donde evaluaron pasturas nativas sobrepastoreadas (PD), pasturas nativas con árboles (PNA), pasturas mejoradas con árboles (PMA) y un bosque secundario intervenido (BSI), sitios donde caracterizaron la vegetación y estimaron la escorrentía superficial e infiltración. La PD presentó la mayor escorrentía, seguida por la PNA; mientras que la PMA y el BSI presentaron los valores más bajos (28, 27, 15 y 7%, respectivamente). El BSI presentó la mayor infiltración; mientras que las pasturas con árboles (PMA y PNA) permitieron infiltrar más que las PD (3,54; 0,23; 0,19 y 0,07 cm/h, respectivamente). La cobertura arbórea se correlacionó negativamente con la escorrentía ($r = -0,71$; $P = 0,01$) y positivamente con la infiltración ($r = 0,75$; $P = 0,01$) y concluyeron que los SSP, al tener el componente arbóreo, mostraron mayores beneficios hidrológicos en la zona de recarga, ya que disminuyeron la escorrentía superficial, incrementaron la infiltración y favorecieron una mayor conservación de agua en el suelo.

Otro aspecto de importancia es que los SSP disminuyen el impacto ambiental de la actividad ganadera. En un caso, en la cuenca del río San Pedro, Camagüey, Cuba, Acosta et ál. (2008) realizaron una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) esperado de los SSP en las áreas deforestadas de la cuenca. La EIA demostró que con el establecimiento de los SSP en dichas áreas se puede resarcir el impacto negativo que la actividad ganadera ha ocasionado, llevando el indicador general de impacto de valores negativos a positivos. Para ello se utilizó la metodología RIAM (*Rapid Impact Assessment Matrix*) (Pastakia y Jensen 1998), que considera cuatro áreas temáticas de análisis: físicoquímica (FQ), ecológico-biológica (EB), sociocultural (SQ) y económica-operacional (EO), con sus correspondientes componentes (Cuadro 5).

Es necesario hacer grandes esfuerzos estatales y gremiales para cambiar la cultura a partir de programas que promuevan la responsabilidad social empresarial entre los ganaderos. Pero, quizás el desafío más importante es hacer posible la reconversión desde el punto de vista financiero, dada la alta inversión requerida para transformar las áreas abiertas de pastoreo en SSP. Se hace necesario entonces, estructurar paquetes de financiamiento con subsidios, con bajos intereses, y con asistencia técnica para proyectos silvopastoriles, dado que uno de los inconvenientes más argumentados es el costo de establecimiento de los SSP.

En relación con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), el aporte de los SSP tropicales es mucho menor que el de los sistemas de lechería y de engorde intensivos de los países desarrollados, pero, es además un proceso natural, y no es producto de la incontrolada transformación industrial o del consumo intenso de combustibles fósiles que hacen hoy los países desarrollados.

Cuadro 5. Componentes a considerar en una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de los sistemas silvopastoriles

Componentes por área temática			
Físico-química	Ecológico-biológica	Socio-cultural	Económica-operacional
Suelo - efecto sobre erosión - movilización y aporte de nutrientes - cambios en materia orgánica - retención de humedad - penetración del agua - modificaciones al relieve	Ganado - disponibilidad de alimento - efecto del sombreado - disponibilidad de suplemento proteico - efectos sobre la salud y la reproducción Fauna silvestre - fuentes melíferas - hábitat para avifauna - incremento de macroinvertebrados que actúan como depredadores, descomponedores y parasitoides	Calidad de vida - bienes materiales - confort ambiental - fuentes de empleo - poder adquisitivo - valor estético-paisajístico - disponibilidad de fuentes de energía -contribución al desarrollo social Cultura - rescate de tradiciones	Ingresos - producción pecuaria - producciones secundarias - aprovechamiento del área - disponibilidad de madera para construcciones Egresos - Insumos pecuarios - Inversiones - obras nuevas y mantenimiento
Agua - deformación del cauce - retención de aguas interiores - sedimentos en ríos			
Atmósfera - intercambio de gases - filtrado de los vientos	Flora - competencia por agua y nutrientes - efectos del sombreado		
Clima - cambios en el clima debajo del arbolado	Ecossistema - posible aparición de plagas - retención de carbono - generación y uso de desechos sólidos		

Fuente: modificado de Acosta et ál. (2008).

Las personas relacionadas con la producción ganadera del trópico mesoamericano cuentan en general con conocimientos y tecnologías para la adaptación y mitigación al cambio climático –enfático en sequía– que permiten mantener una producción estable a lo largo del año, lo que redundará en el mejoramiento de los medios de vida de las familias rurales.

Finalmente, el manejo del componente arbóreo, la pastura y el ganado en forma balanceada es una de las acciones principales que proponemos y denominamos manejo integral silvo-pastoril (Figura 21). El manejo de la pastura se refiere al tipo de pastizal (natural o mejorado), cultivos forrajeros, ciclos de crecimiento, procesos de conservación de forrajes tamaño de potreros, pastoreo rotacional, entre otros. El manejo del ganado en función del tipo (carne, leche, doble propósito), aspectos nutricionales, entre otros. El manejo del componente arbóreo estará en función de la modalidad adoptada (árboles dispersos en pastizales, cercas vivas, bancos forrajeros, rodales para sombra, entre otros).

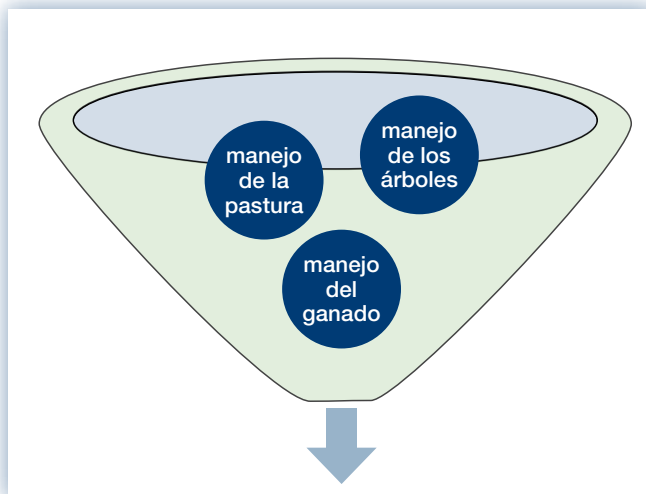


Figura 21. Manejo integral silvopastoril.

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

Los principales factores de manejo para cada caso se presentan a continuación:

Factores principales del manejo integral silvopastoril	
•	Especie arbórea
•	Densidad de los árboles
•	Tipo de suelo
•	Arreglo espacial
•	Distribución
•	Plantación
•	Manejo de regeneración natural

2.13 La regeneración natural y su efecto sobre la arborización de áreas de pastoreo

Las fincas ganaderas presentan generalmente árboles dispersos en potreros que ofrecen sombra y alimento para los animales y generan ingresos por madera y/o frutas. Algunos de estos árboles son remanentes de los bosques originales antes de la deforestación, otros fueron sembrados por los productores y la gran mayoría ha crecido a partir de la sucesión vegetal o regeneración natural, gracias a la dispersión de semillas que hacen el ganado y los animales silvestres.

El manejo de la regeneración natural en áreas en pastoreo se hace mediante la abolición de las herramientas indiscriminadas que se utilizan para eliminar las plantas invasoras en

las praderas. Estas herramientas son las quemas, deshierbas manuales, mecanizadas y la aplicación generalizada de herbicidas químicos, luego la vegetación nativa y los animales contribuyen eficazmente a consolidar el sistema. La primera etapa puede durar entre dos a cinco años, lo cual depende de las condiciones de carga animal, períodos de descanso y ocupación de las praderas, humedad, fertilidad y descompactación del suelo, sombra, bancos de semillas y proximidad a bosques nativos. Posteriormente se realizan podas selectivas y entresacas de madera hasta conformar de dos a tres estratos de vegetación compatibles con los pastos establecidos y dominantes en la pradera.

Estudios recientes en zonas ganaderas de América Central demuestran que los productores conservan entre el 88% al 100% de árboles dispersos en las praderas (Harvey y Haver 1999), con una riqueza y variabilidad nada despreciables que puede llegar hasta cien especies diferentes (Esquivel et ál. 2003, 2011).

En la zona del trópico seco del pacífico de Costa Rica las especies arbóreas más abundantes y frecuentes, provenientes de regeneración natural, son: *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora*, *Pithecellobium dulce* y *Acrocomia vinifera* Esquivel. et ál. (2003).

Como especie promisoría, la *Cordia alliodora* posee un alto potencial para el desarrollo de los SSP por regeneración natural, debido a su abundancia, adaptabilidad ecológica y a que su madera alcanza un alto precio comercial (Camargo et ál. 2008). Esto también lo hemos observado en las tierras bajas del Caribe, donde se maneja la regeneración de *C. alliodora* para mantener una densidad no mayor de cien árboles por hectárea (Botero y Russo, observación personal). También *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum* se encuentran ampliamente diseminados en Costa Rica y Nicaragua, como árboles dispersos en potreros, de mayor amplitud de copa, y son aceptados por los ganaderos para el sombrío de los animales, pues sus frutos son producidos y ávidamente consumidos en la época seca (Esquivel. et al. 2009). Asimismo en varios países de Mesoamérica son comunes en fincas ganaderas grandes árboles como *Ceiba pentandra* y frutales tropicales naturalizados como *Manguifera indica* que ofrece abundantes frutos estacionales comestibles, tanto a los humanos como a los animales domésticos y silvestres (Murgueitio e Ibrahim 2001).

Por otra parte, por su distribución y su asociación directa con los sistemas ganaderos se destaca *Psidium guajaba* que produce uno de los frutos neotropicales más rico en vitamina C y minerales, el cual se industrializa y comercializa ampliamente para el consumo humano. Aunque durante la conquista esta especie arbórea ya se encontraba ampliamente distribuida en América tropical (Patiño 2002), la ganadería bovina facilitó su expansión hacia diversos ecosistemas, es muy consumida tanto por animales domésticos como silvestres, principalmente aves. En América equinoccial los árboles de guayaba crecen desde el nivel del mar hasta los 2 100 msnm en suelos y climas variados, con precipitaciones anuales entre 800 y 6 000 mm. La dispersión de la guayaba en pastizales se realiza principalmente a través del estiércol bovino, logrando rangos de densidad en los SSP naturales de entre 10 hasta

350 árboles por hectárea. La más alta densidad permite producir mayor volumen de frutos, mayor cantidad de madera y leña, sin detrimento de la productividad pecuaria (Somarriba 1986). La poda y entresaca de los árboles de guayaba en las silvopasturas se puede contratar, pagando con la madera y la leña obtenida a quien hace el trabajo (Botero Jacobo 2006, comunicación personal).

Los árboles del género *Crescentia* spp. cuentan con seis especies, pero las más difundidas son *Crescentia cujete* y *Crescentia alata*. Son de uso multipropósito y con altas densidades en los SSP provenientes de la regeneración natural. Son nativos de América tropical y se encuentran distribuidos desde México hasta Argentina y en las islas del Caribe (Gentry 1980). Son comunes en Guanacaste, Costa Rica y en la Nueva Concepción en Guatemala.

El *Crescentia alata* se considera un árbol de gran importancia en el trópico seco y en regiones con tendencia a la desertificación, por su alta resistencia a la sequía, aunque también tolera sitios húmedos. Igualmente, se adapta a suelos de diversa fertilidad natural, desde fértiles a pobres, así como compactados, también tiene capacidad de crecer tanto en condiciones abiertas, como de sombra abundante. Su adaptación altitudinal abarca desde el nivel del mar hasta los 1 400 msnm. Aunque su follaje es escaso, el mayor producto útil es su fruto que varía de tamaños entre 4 hasta 25 centímetros de diámetro y peso por fruto de entre 400 hasta 1 500 gramos. La producción de frutos oscila entre 27 a 92 frutos/árbol/año y desde 16 hasta 81 kilogramos/árbol/año (Roncallo et ál. 1996). Se destaca su capacidad de regeneración natural cuando los frutos son consumidos por los animales, quienes escarifican las semillas en su tracto digestivo. Estas germinan en abundancia en las excretas animales, toleran el pisoteo, el ramoneo de los animales y también las quemaduras de las pasturas durante la sequía. En las regiones del pacífico de Costa Rica y de Nicaragua hay experiencias exitosas de los SSP basados en *C. alata*. Aunque la especie se puede propagar en forma asexual (por esquejes) los productores prefieren multiplicarla por semilla para establecer árboles con una raíz principal profunda lo que les permite obtener agua y nutrientes en lugares más profundos del suelo.

Es posible que la práctica de establecimiento de silvopasturas por regeneración natural sea multiplicada por muchos productores. Se trata de la más baja inversión financiera y el mismo potencial productivo y ambiental, frente a otras opciones de sistemas agroforestales. Pero la sucesión vegetal o regeneración natural en sistemas ganaderos tiene aspectos negativos que han sido poco estudiados. Por ejemplo, el incremento de hábitats con vegetación arbustiva y arbórea, cada vez con mayor densidad y altura de los árboles, atrae los rayos durante las tormentas eléctricas y pueden matar a los animales que buscan protección bajo su copa. También facilitan la deforestación, el robo de madera, leña, frutos y el abigeato, el sacrificio doloso y la caza furtiva de animales domésticos y silvestres. Además pueden aumentar la presencia de especies de animales y de plantas no deseables para el ganado, como es el caso de los vampiros, las larvas de moscas de la piel (*Dermatobia* - *Haematobia*), las serpientes venenosas (víboras de coral, cascabel, terciopelo, etc.) y la

presencia de plantas tóxicas que pueden ser consumidas por los animales. La mayoría de los productores de ganado no están dispuestos a aceptar que su finca sea invadida por el bosque, por lo tanto, se hace necesario incrementar las investigaciones futuras para determinar combinaciones óptimas entre vegetación arbustiva, arbórea y praderas, y así, evitar los efectos negativos sobre los pastos por exceso de sombra y por el fenómeno de alelopatía que causan algunas plantas.

2.14 Factores de manejo de la pastura

Los factores a tener en cuenta al manejar una pastura son:

- Altura de la pastura a la entrada y salida de los animales (mediante aforo).
- Controlar la calidad nutricional de la pastura.
- Consumir el pasto a tiempo, para aumentar el aprovechamiento.
- Dar suficientes días de descanso entre pastoreos.
- Hacer divisiones en los potreros.
- Hacer pastoreo rotativo, racional y controlado.
- Días de pastoreo por parcela, todo esto en el marco del tiempo (cronológico y climático), donde las condiciones de crecimiento del pasto van variando.
- Mantener las pasturas con una oferta de pasto adecuada, o sea, con buenos sitios de alimentación.
- Evitar que la pastura se sobremadure (lignifique) y pierda calidad.

2.15 Aspectos importantes sobre las pasturas

Desde finales del siglo XIX, el fuego se utilizó como herramienta de manejo para transformar los bosques nativos y para controlar la regeneración natural. Para la transformación de las grandes áreas deforestadas fue clave el establecimiento de gramíneas de origen africano como: *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum*, sembradas por semilla; y *Digitaria decumbens*, para pastoreo en suelos bien drenados, *Brachiaria mutica*, adaptado a suelos bajos mal drenados y *Kikuyuocloa clandestina* que se estableció en zonas planas y laderas bien drenadas con alturas entre 1 800 msnm y 3 200 msnm, sembradas las tres últimas por material vegetativo.

Las gramíneas nativas de América tropical se propagaron por material vegetativo y cubrieron áreas para pastoreo en regiones cálidas, principalmente: *Axonopus micay*, *Axonopus scoparius*, utilizado tanto para pastoreo como para corte, grama trenza o bahía *Paspalum notatum*, *Axonopus compressus*, *Homolepis aturensis* y *Ixophorus unisetus*. La principal gramínea naturalizada de Asia fue *Ischaemum indicum*, las ocho últimas gramíneas mencio-

nadas también se propagan por regeneración natural. Todas las gramíneas listadas aquí son tolerantes a la quema y se sembraron puras, asociadas únicamente de forma espontánea con leguminosas nativas de América tropical (Cuadro 6).

Cuadro 6. Especies de gramíneas utilizadas inicialmente en América tropical

Nombre científico	Nombres comunes	Características
De origen africano		
<i>Brachiaria mutica</i>	Pará o admirable	Sembrada por material vegetativo, adaptado a suelos bajos mal drenados
<i>Digitaria decumbens</i>	Pangola	Sembrada por material vegetativo, para pastoreo en suelos bien drenados
<i>Hyparrhenia rufa</i>	Puntero, jaragua o uribe	Gramínea forrajera adaptada a suelos bien drenados
<i>Melinis minutiflora</i>	Gordura, melao, chopin o yaragua peludo	Gramínea forrajera adaptada a suelos bien drenados
<i>Kikuyuocloa clandestina</i>	Kikuyo	Sembrada por material vegetativo, zonas altas (1 800-3 200 msnm)
<i>Panicum maximum</i>	Guinea o india	Sembradas por semilla, exigente en suelos bien drenados y fértiles
De origen asiático		
<i>Ischaemum indicum</i>	Pasto ratana o panameña	Se propaga por regeneración natural
Gramíneas nativas		
<i>Axonopus compressus</i>	Pasto alfombra	Se propaga por semilla y por regeneración natural
<i>Axonopus micay</i>	Micay	Se propaga por semilla y por regeneración natural
<i>Axonopus scoparius</i>	Imperial	Se propaga por semilla y por regeneración natural, utilizado para pastoreo directo y corte
<i>Homolepis aturensis</i>	Comina, guaduilla, criadero o hierba amarga	Se propaga por semilla y por regeneración natural
<i>Ixophorus unisetus</i>	Pasto Honduras	Se propaga por semilla y por regeneración natural
<i>Paspalum notatum</i>	Gramma, trenza o bahía	Se propaga por semilla y por regeneración natural

Fuente: Elaboración de los autores, 2015.

2.15.1 Aspectos importantes sobre el manejo del ganado

El manejo de ganado es una actividad de fundamental importancia en el ámbito de las actividades pecuarias pues implican una serie de operaciones que, como casi todas las actividades humanas, pueden producir impactos ambientales, algunos negativos. Los productores hacen lo mejor que pueden con la dotación de recursos a su alcance y la información a la que pueden acceder, por lo tanto, una acción de extensión sería colocar a su disposición una guía de pautas con las principales áreas temáticas (alimentación, reproducción, infraestructura y sanidad) y las tecnologías críticas mínimas para un buen manejo del ganado.

Los aspectos más relevantes por considerar en el manejo del ganado en los SSP son:

- Estado nutricional del ganado
- Estado sanitario del ganado
- Disposición de agua en los potreros
- Control de la carga animal, altas cargas favorecen mayores ganancia de peso por hectárea
- Evitar selección del forraje con alta carga instantánea
- Rotación del hato a diferentes potreros
- Control de los períodos de descanso y ocupación de las praderas
- Sombra en los potreros

Si bien, cada país, región o finca tiene sus condiciones propias, una generalización puede aproximarse a lo expuesto en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Áreas temáticas y tecnologías críticas en el manejo del ganado vacuno en sistemas silvopastoriles

Alimentación
* Reserva de campo natural
* Fertilización de pastizales
* Ajuste de carga (entre 3 a 5 U.A./ha/año, equivalentes a presiones de pastoreo de 1 200 a 2 000 kg/ha/año) con períodos de ocupación en pastoreo no mayores de un (1) día y períodos de descanso de las silvopasturas no menores de cuarenta y cinco (45) días.
* Suplementación energética-proteica
* Suplementación mineral
Reproducción
* Estacionamiento del servicio en tres a seis meses
* Edad de servicio (entore o inseminación) en novillas a partir de dos años de edad
* Diagnóstico de gestación y de ciclicidad
* Destete (no mayor a ocho (8) meses de edad del ternero)
Infraestructura/Instalaciones
* Apartos o división de potreros (no menos de 46 apartos)
* Aguadas (todas por fuera de la cuenca de la fuente de agua natural)
* Caminos y drenaje
* Corrales y bañaderos
* Registros productivos y reproductivos
Sanidad
* Desparasitación (basado en análisis coproparasitario de las heces)
* Vacunación
* Asistencia veterinaria

Fuente: adaptado del enfoque de Giancola et ál. (2012) para sistemas silvopastoriles.

2.16 Degradación de las pasturas tropicales

La degradación de pastizales es un problema serio, pues se estima que entre un 50-80% de las áreas de pasturas están degradadas y solo en América Central representan casi siete millones de hectáreas (Pezo et ál. 2012).

Se calcula que en Mesoamérica el área agrícola total alcanza casi 122 millones de ha, incluyendo 85 millones de ha de pastizales (Cuadro 6), de las cuales 88% corresponden a México y 12% (10 232 420 ha) al resto de los países de América Central (FAO 2014).

Cuadro 8. Área agrícola total, tierra arable, área de cultivo y área de pastizales⁶ en Mesoamérica por país

	Área agrícola total miles de ha	Tierra arable 2011 %	Cultivos 2011 %	Pastizales 2011 %	Pastizales 2011 miles de ha
Mesoamérica	121 763	25,8	4,2	70,0	85 234,10
Belize	157	47,8	20,4	31,8	49,93
Costa Rica	880	13,3	17,6	69,1	608,08
El Salvador	1 532	43,4	15,0	41,6	637,31
Guatemala	4 395	34,1	21,5	44,4	1 951,38
Honduras	3 220	31,7	13,7	54,7	1 761,34
México	103 166	24,7	2,6	72,7	75 001,68
Nicaragua	5 146	36,9	4,5	58,6	3 015,56
Panamá	2 267	23,8	8,3	67,8	1 537,03

Fuente: resumido de FAO *Statistical Yearbook 2014, Latin America and the Caribbean Food and Agriculture*.

A continuación se presentan las ocho principales causas a las cuales se les atribuye la degradación de los pastizales:

2.16.1 Ganadería extensiva con pastoreo continuo

El pasto en el pastoreo continuo, no tiene la oportunidad de librarse, en ningún momento, del pisoteo de los animales, por lo que sufre un grave deterioro. Debido a la disminución del crecimiento durante la sequía y la continuidad de la carga animal, el pasto se acaba, y al final de dichos periodos desmejoran los animales, merma notablemente la producción y, al llegar de nuevo las lluvias, se produce una fuerte erosión y el terreno se cubre de malezas, que finalmente remplazan el pasto (Durán 1974).

6 Los pastizales comprenden los ecosistemas de praderas y pasturas (como los denomina FAO 2014) y son ecosistemas con predominio de especies y comunidades vegetales destinadas al consumo animal. Las praderas son ecosistemas naturales y/o naturalizados y las pasturas intervenidas con especies exóticas.

2.16.2 Acidez del suelo

Se deben seleccionar gramíneas, leguminosas y otras especies forrajeras herbáceas, arbustivas y arbóreas multipropósito, adaptadas para establecer las silvopasturas en suelos ácidos de baja fertilidad y en climas adversos. No se debe pretender corregir la acidez y la fertilidad del suelo para adaptar especies forrajeras que solo persisten y son productivas en condiciones edafoclimáticas más benévolas.

2.16.3 Compactación del suelo

En condiciones ideales, el suelo debe poseer, al menos la mitad de su volumen en espacio vacío, donde se almacenen el aire, el agua y donde viven los macroinvertebrados que se alimentan de los residuos vegetales y los convierten en materia orgánica para mantener y aumentar su fertilidad natural.

Una Unidad Animal Bovina-U.A. (con 400 kilogramos de peso vivo) posee ocho (8) puntos de apoyo (pezuñas) sobre el suelo. Cada pezuña ejerce entonces una presión equivalente a 50 kilogramos. En suelos de textura arcillosa, es de esperar que se presente una alta y rápida compactación de la superficie del suelo por efecto del pisoteo continuo del ganado en pastoreo, o por la compactación producida por los pesados equipos de cosecha, en pasturas bajo corte mecanizado. Esto hace que, a través de los años, aun sobre suelos oxisoles, y con mayor celeridad en suelos ultisoles, se presente de manera inevitable, la compactación en los primeros 10 a 20 centímetros de la superficie del suelo.

En suelos de textura franco arenosa, arenosa, limosa y en suelos pedregosos o con alto contenido de materia orgánica, normalmente la compactación del suelo es menos severa, más lenta o simplemente no se presenta.

El contenido de oxígeno en el suelo es indispensable para facilitar a las plantas, a través de las raíces, la absorción de los nutrientes minerales que les permite un mayor crecimiento, vigor, desarrollo y una persistencia productiva estable. El oxígeno es esencial para permitir la descomposición de la materia orgánica del suelo y la mineralización de los elementos que nutren a las plantas. La compactación de la superficie del suelo reduce la aireación, limita el espacio de suelo que puede ser ocupado y explorado por las raíces y disminuye la cantidad de agua disponible, dificultando su capacidad de nutrirse apropiadamente. Las raíces de las especies arbustivas y arbóreas penetran capas profundas del suelo, absorben agua y evitan su compactación (Botero 2012a).

La compactación del suelo en las pasturas se evalúa midiendo los porcentajes de partículas de suelo y de espacio vacío que posee. En el laboratorio se mide en un cilindro metálico de volumen conocido. Se determina por peso su comparación y se define si hay o no compactación y que tan leve o severa es. Otra herramienta subjetiva útil y de bajo costo para el productor, consiste en enterrar, durante el período de lluvias, una pala o un barreno para sentir

la dificultad o no de la fuerza de penetración a una profundidad de 20 centímetros. Se hace a 20 centímetros porque es allí donde se concentra la mayor población de raíces de las gramíneas para pastoreo y corte. Se comprime con la mano igualmente el terrón o cilindro de suelo extraído, para sentir su fuerza de cohesión o compactación.

2.16.4 Señales de degradación en las pasturas tropicales

Se puede estar seguro de la degradación de la pastura cuando una pradera tropical tiene el suelo descubierto por encima del 20% del área; cuando hay invasión de malezas, sean estas leñosas o ciperáceas (plantas indicadoras de mal drenaje); cuando se visualiza arrastre de suelo, por efecto de la erosión laminar y de salpique del agua lluvia; cuando hay compactación del suelo, lo que hace que durante una lluvia fuerte no haya infiltración del agua y se forme escorrentía; cuando hay pérdida de vigor; cuando es lenta la recuperación de la pastura, con demanda de mayor número de días de descanso; cuando se reduce la capacidad de carga animal; cuando se reducen los días de duración del pastoreo de la pastura, y cuando se reduce la ganancia de peso y/o de la producción de leche diaria de los animales.

2.16.5 Efectos de la renovación de pasturas degradadas

La renovación de pasturas degradadas debe mejorar el drenaje y la capacidad de infiltración y retención del agua proveniente de las lluvias o del riego; reducir la erosión laminar; acelerar la mineralización de la materia orgánica; incorporar al suelo las excretas animales y el colchón de hojas muertas; renovar y dividir las raíces y las cepas de las plantas forrajeras; uniformizar su rebrote; estimular su vigor, cobertura y producción de semilla e incrementar sensiblemente la población y diversidad de leguminosas nativas y, finalmente, aumentar la capacidad de carga y la productividad animal.

2.16.6 Erosión

La compactación reduce la cobertura con plantas, lo cual promueve la erosión laminar hídrica causada por el salpicado de las gotas de lluvia sobre el suelo descubierto de las praderas, aun en topografías con pendientes muy leves. En pendientes mayores al 5% se presenta la erosión con formación de surcos o cárcavas y en pendientes fuertes, no recomendables para el establecimiento de pasturas para pastoreo, se pueden presentar remociones masales de suelo. La erosión hídrica y eólica permiten la pérdida, por arrastre, de la capa superficial, que contiene la mayor cantidad de materia orgánica.

2.16.7 Quema

La quema accidental o programada, tradicionalmente usada como herramienta de manejo de pasturas en los sistemas extensivos de producción ganadera en el trópico, volatiliza cantidades variables de nitrógeno, azufre y selenio hacia la atmósfera y reduce el contenido de materia orgánica del suelo (Anderson y Pressland 1987).

2.16.8 Agotamiento del fósforo y del nitrógeno en el suelo

El fósforo y el nitrógeno son los minerales más deficitarios en los suelos tropicales. Ambos minerales se van al mercado con los productos agropecuarios, por tal razón, hay que reponerlos para lograr la sostenibilidad en los sistemas de producción (Botero 2012a). En el caso del fósforo, que es el segundo insumo más escaso en el mundo, después del petróleo, se puede aplicar en los suelos ácidos (pH menor de 5,5) con base en rocas fosfóricas, en cuyo caso la acidez del suelo lo irá solubilizando lentamente, para que sea absorbido por las raíces de las plantas, antes de que sea fijado por las arcillas del suelo en las formas insolubles de fosfatos de hierro y de aluminio.

Las rocas fosfóricas se pueden tratar con ácido sulfúrico, para solubilizar el fósforo y hacerlo disponible de inmediato a las plantas, después de su aplicación al suelo. También se puede aplicar fósforo en las escorias básicas (escorias Thomas o calfos), que se obtienen durante la elaboración del acero. Los superfosfatos simple y triple también pueden ser aplicados al suelo como fuente de fósforo de alta solubilidad. Todas las gramíneas necesitan fósforo y también nitrógeno, el cual, en este mundo, escaso de energía, debería ser fijado desde el aire y a bajo costo, por las raíces de las plantas leguminosas nativas o introducidas, mediante simbiosis con bacterias del género *Rizobium*.

El aire que respiramos contiene 79% de nitrógeno. En el caso de pasturas asociadas con leguminosas herbáceas, arbustivas o arbóreas, pueden fijar entre 50 a 900 kg/ha/año de nitrógeno, sin requerir, en algunos casos, de su aplicación como fertilizante en las praderas. Si se aplica fertilización nitrogenada, las leguminosas tienden a desaparecer (Botero 2012a). Paradójicamente, a pesar de que América tropical es la región más rica en germoplasma de leguminosas en el mundo, es notorio el bajo conocimiento actual sobre leguminosas nativas tropicales perennes que sean persistentes y productivas bajo pastoreo.

El aporte de nitrógeno también puede suplirse mediante la aplicación de fuentes comerciales como urea, nitrato, sulfato o fosfato de amonio, cuyo aprovechamiento por las plantas es limitado, ya que el nitrógeno es fácilmente volatilizado a la atmósfera en forma de amoníaco o bien se lava hacia capas profundas del suelo para contaminar las fuentes de agua subterránea. Su aplicación debe ser fraccionada y continua, puesto que se volatiliza o se lixivia rápidamente en el suelo para las plantas. En el caso de tener un bajo contenido de materia orgánica en el suelo, será limitada la cantidad de nitrógeno que aprovechen las plantas que allí crecen.

2.17 Los sistemas silvopastoriles y la conservación de la biodiversidad

En Mesoamérica, los árboles aislados en los potreros son una característica común del paisaje, sin embargo, un porcentaje considerable de las pasturas están en algún estado de degradación. De la misma manera, se dejan en pie pequeños parches de bosque natural

para proteger fuentes de agua. Estas áreas de pasturas degradadas podrían ser restauradas mediante los SSP, que además de proveer servicios ecosistémicos, hacen más sostenibles los sistemas de producción animal en los trópicos.

La importancia del papel que juega la restauración del paisaje ha sido recientemente reconocida a través de las decisiones internacionales relacionadas con el cambio climático y la biodiversidad. En octubre de 2010, cerca de 200 gobiernos asistentes a la Conferencia de las Partes del Convenio para la Diversidad Biológica que tuvo lugar en Nagoya, Japón, adoptaron el objetivo de restaurar al menos el 15% de los ecosistemas degradados para el año 2020 (Newton y Tejedor 2011). Estudios recientes han demostrado que estos árboles cumplen un papel importante para la conservación de la biodiversidad al proveer refugio para animales silvestres, así como sitios de descanso, anidación y alimento para la avifauna y la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados. A nivel regional, los sistemas silvopastoriles pueden jugar un importante papel en la implementación del Corredor Biológico Mesoamericano (González-Valdivia et ál. 2014) y se espera que estos corredores provean hábitats adecuados para la vida silvestre al facilitar la dispersión de las semillas y la regeneración de la vegetación nativa.

También se ha demostrado que la producción pecuaria eficiente y sostenible, está relacionada con la biodiversidad y el bienestar animal (Broom et ál. 2013). En potreros con alta densidad de árboles se encontró mayor riqueza de mariposas (14 especies) que en pasturas mejoradas con baja densidad de árboles (10 especies). También se ha demostrado que la lluvia de semillas bajo los árboles en las pasturas es considerablemente mayor que en las pasturas sin árboles, por lo cual la dispersión de especies nativas de plantas de bosque es una posibilidad en pasturas arboladas (Esquivel et ál. 2011, Harvey y Haver 1999, Harvey et ál. 2010, 2013, Tobar et ál. 2007, Zuluaga et ál. 2011).

Donde la regeneración natural no es una opción viable, se puede hacer reforestación para establecer los SSP (arborización de los sistemas pecuarios) con el fin de restaurar pasturas degradadas, incrementar la productividad, favorecer la biodiversidad y promover la conservación de los recursos naturales.

Las cercas vivas y cortinas rompevientos también contribuyen a la conservación de la biodiversidad, dado que son hábitats para la avifauna y fauna nativa, y pueden establecer conectividad que favorece el desplazamiento de animales silvestres entre hábitats naturales remanentes y facilita la dispersión de semillas; por tal razón, pueden servir como corredores biológicos en paisajes agrícolas caracterizados por la fragmentación de los hábitats naturales.

2.18 Los sistemas silvopastoriles y la captura de carbono

El uso de los SSP contribuye a la captura y almacenamiento de carbono en los árboles y en el suelo. Investigaciones realizadas en Colombia, Costa Rica, Nicaragua, lideradas por el

Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), han encontrado que los SSP acumulan más carbono en la biomasa aérea y en el suelo que las pasturas degradadas, que además disminuyen las emisiones de GEI, particularmente de metano (Cuadro 9). El almacenamiento de carbono en los suelos de los SSP es un aspecto relevante, dado que contienen tanto o más carbono que la vegetación. De manera que, la materia orgánica del suelo (MOS) juega un papel notable y todas aquellas prácticas que aumenten este contenido tienen un efecto positivo en la mitigación del cambio climático (Montagnini 2012).

Cuadro 9. Emisión de metano por diferentes sistemas de pasturas en g de metano/kg materia seca de forraje consumido por el ganado

Tipo de pastura	g CH ₄ /kg MS forraje
Nativa o naturalizada - <i>Hyparrhenia rufa</i>	30-35
Pastura mejorada - <i>Brachiaria brizantha</i>	26-28
SSP con <i>Leucaena</i>	16-18

Fuente: adaptado de Ibrahim y Guerra 2010.

Además, la captura de carbono en las pasturas puede incrementarse con el manejo del sistema de pastoreo, el establecimiento de especies de pasturas adecuadas, y el tamaño de los potreros. Estudios realizados en la región del pacífico de Costa Rica han demostrado que fincas ganaderas pueden mitigar entre 2,2 y 10,6 toneladas de CO₂ equivalente por ha con la incorporación de los SSP, tanto en biomasa como en suelos. En otras investigaciones sobre el balance del carbono en los SSP realizadas en Costa Rica, Colombia, y Nicaragua se examinó el almacenamiento del carbono aéreo y en partes subterráneas incluyendo suelos, en diversos usos de la tierra (pasturas degradadas, pasturas mejoradas, bosques secundarios y plantaciones forestales). Los estudios se realizaron en fincas ganaderas en los departamentos del Quindío y Valle del Cauca en Colombia, en el cantón de Esparza en Costa Rica y en la municipalidad de Matiguás, Nicaragua; como parte del proyecto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas (GEF Silvopastoril)”, conducido por CIPAV en Colombia, CATIE en Costa Rica y Nitlapán en Nicaragua, financiado por GEF, FAO y el Banco Mundial (Ibrahim y Guerra 2010, Ibrahim et ál. 2007, 2010; Montagnini 2010, 2012; Murgueitío 2010, Murgueitío e Ibrahim 2009, Murgueitío et ál. 2009, 2013; Cuartas et ál. 2014).

Abarca Monge (2013) evaluó las emisiones de metano en diferentes categorías bovinas (Cuadro 10) en fincas lecheras de Costa Rica y calculó que en una finca de 100 animales se produce 1,36 toneladas de CO₂e por cabeza; y que de acuerdo con la capacidad de mitigación de las diferentes especies arbóreas, sería necesario plantar 100 árboles/año para compensar la emisión por fermentación entérica de los animales, lo que implica que en un ciclo de 13 a 15 años, se deben cosechar entre 1 300 a 1 500 árboles y plantar otros que continúen creciendo.

Cuadro 10. Emisiones por animal/año en metano (CH₄) y en CO₂e* equivalente, en una lechería de 30 hectáreas y 100 cabezas bovinas

Categoría bovina	Emisiones/animal/año		Animales	Emisión/año
	CH ₄ kg	CO ₂ e* kg	Cabezas n	CO ₂ e* ton
Terneros	20,0	420,0	22	9,2
Novillas de reemplazo	48,7	1 022,7	17	17,4
Vacas	85,0	1 785,0	60	107,1
Toros	111,7	2 345,7	1	2,3
TOTAL			100	136,0

*CO₂e = Dióxido de carbono equivalente.
Fuente: modificado de Abarca Monge (2013).

2.19 Principales limitantes y opciones para estimular la adopción de sistemas silvopastoriles comerciales en Centroamérica

Los SSP han tenido, tradicionalmente, una baja adopción por los productores ganaderos en todos los países de América tropical. Esto se debe principalmente a su baja promoción, al bajo conocimiento actual, a su lento establecimiento, a la alta inversión monetaria inicial que, demandan, y al deficiente apoyo oficial que, actualmente tiene este tipo de tecnologías.

Los costos de establecimiento de las cercas vivas son aceptados por los ganaderos, pues una vez que los árboles crecen permiten sustituir los postes muertos utilizados en las cercas tradicionales, que tienen cada vez un mayor costo, menor vida útil y menor disponibilidad.

- Baja promoción,
- Poco conocimiento,
- Lento establecimiento,
- Alta inversión inicial, y
- Poco apoyo oficial

Causas de la baja adopción de los SSP

En el caso de los bancos forrajeros, tienen menor acogida por parte de los ganaderos, generalmente, debido a la falta de cobertura del suelo, se degradan, se enmalezan, el suelo se erosiona, la mano de obra empleada en el corte tiene un elevado costo y baja eficiencia y su productividad de forraje es cada vez menor. Por otra parte, al no ingresar animales y no depositar sus excretas sobre el suelo (heces + orina) cada vez el volumen y peso de biomasa en el corte es menor, y la fertilización química tiene un alto costo.

En el caso de los SSP intensivos, los resultados se logran a largo plazo, pero hay mayor bienestar animal, por la sombra arbórea, que refleja una menor temperatura ambiental y permite una mejor adaptación de los bovinos de razas europeas, con mayor potencial de producción de leche y de carne, ambas de mayor calidad para el consumo y procesamiento. Hay mayores ingresos económicos, debido a la cosecha de los árboles maderables que se introducen en el sistema y a la posibilidad de cosechar flores, frutos, semillas, madera y leña; además de elaborar carbón y diversos productos industriales. Los SSP demandan una alta inversión inicial (Figura 22) aunque su mantenimiento anual es de menor costo, comparado con una pradera mejorada en monocultivo tradicional (Figura 23).

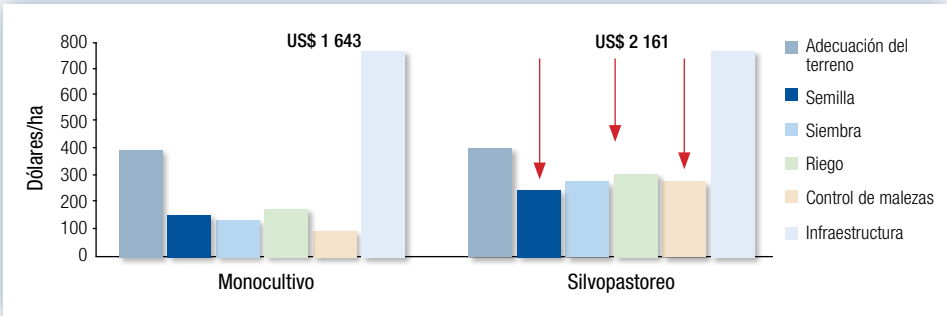


Figura 22. Costos de establecimiento (dólares/ha) para sistemas de monocultivo de *Cynodon plectostachyus* versus un sistema silvopastoril intensivo (*Prosopis*, *Leucaena*, *Cynodon*), RN El Hatico, Valle del Cauca, Colombia.

Fuente: adaptado de Molina-Durán 2012.

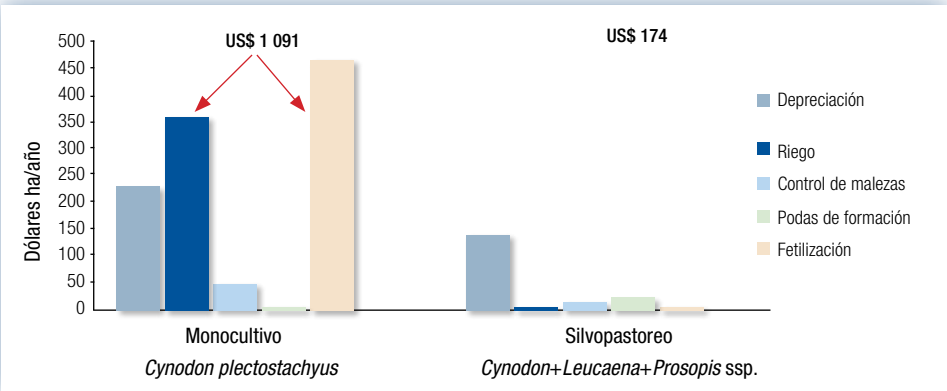


Figura 23. Costos de mantenimiento (dólares/ha) para sistemas de monocultivo de *Cynodon plectostachyus* versus un sistema silvopastoril intensivo (*Prosopis*, *Leucaena*, *Cynodon*), RN El Hatico, Valle del Cauca, Colombia.

Fuente: Molina-Durán 2012.

El establecimiento de las silvopasturas puede hacerse en un porcentaje de hasta 20% anual del área que se decida renovar. Esto permite realizar su asentamiento sin reducir la carga animal y aumentar paulatinamente la producción anual de la empresa agropecuaria. El área por convertir anualmente en un sistema silvopastoril, podrá ser sembrada, cosechada y su forraje ser ofrecido en fresco o conservado temporalmente, mientras el sistema silvopastoril se establece y permite el ingreso de los animales, sin causar daño, durante el pastoreo, a las especies herbáceas forrajeras de cobertura y a las especies arbustivas y/o arbóreas leñosas forrajeras, maderables o frutales que han sido establecidas.

2.19.1 Estímulos para su adopción masiva

Los estímulos para su establecimiento masivo podrían provenir de las entidades de financiamiento del sector agropecuario estatal a través de diversos mecanismos como el cobro de bajos intereses de fomento (años muertos) o bien la reducción de pago en el monto de los préstamos lo que, en este momento en Colombia, representa para el productor, pagar el 60% del monto del crédito.

En el mismo sentido, se podría reducir o eliminar temporal o permanentemente el pago de impuestos a la propiedad sobre las fincas que establezcan sistemas silvopastoriles. Los ministerios de ambiente podrían estimular su establecimiento a través del pago por servicios ambientales.

Los ministerios de agricultura deberían, a su vez, hacer el control de inversiones, estimular el proceso con asistencia técnica voluntaria de largo plazo a los productores, aunque se cobre por este servicio.

Las corporaciones de turismo podrían promover y ofrecer, tanto en el país, como en el exterior, estos sistemas de producción como agroecoturismo. Sin embargo, se debe aumentar la natalidad del ganado, reducir su mortalidad, reducir la edad de reproducción de las novillas y reducir la edad para el mercado de los machos engordados. Finalmente, aumentar la producción y la calidad de la carne y de la leche. Para terminar, se podría ofrecer un valor agregado a los productos para la comercialización, y así, conseguir una mayor rentabilidad y un menor daño ambiental de los sistemas de producción ganadera tropical.

Bibliografía

- Abarca Monge, S. 2013. Cambio climático y la mitigación en fincas lecheras. *Revista de la Universidad Técnica Nacional*, 63:28-31.
- Acosta Gutiérrez, Z., G. Guevara Viera y J.M. Plasencia Fraga. 2008. Evaluación de impacto ambiental del establecimiento de sistemas silvopastoriles en la cuenca del río San Pedro, Camagüey, Cuba. *Zootecnia Trop.*, 26(3):175-178.
- Aguilar-Robledo, Miguel. 2001. Ganadería, tenencia de la tierra e impacto ambiental en la Huasteca Potosina: los años de la Colonia. En *Historia Ambiental de la Ganadería en México*. Lucina Hernández (comp.). Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. pp. 9-24.
- Anderson, E. R. y A.J. Pressland. 1987. Careful burning as a management tool. *Queensland Agricultural Journal*, 113(1):40-44.
- Andrade, H., H. Esquivel y M. Ibrahim. 2008. Disponibilidad de forrajes en sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Zootecnia Trop.*, 26(3):289-292.
- Argel, P y B. Maass, 1995. Evaluación y adaptación de leguminosas arbustivas en suelos ácidos infértiles de América Tropical. In: *Proceedings of the workshop "Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils"* Evans, D.O. and Szott, L.T. (eds.) Nitrogen Fixing Tree Association (NFTA) and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. pp. 215-227.
- Bacab, H. M, N. B. Madera, F.J. Solorio, F. Vera y D.F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria (México)*, 17(3):67-81.
- Bolívar, D. M., 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba, C.R.

- Barrera Bassols, N. 1996. Los orígenes de la ganadería en México. *Ciencias*, N° 44, octubre-diciembre 1996, pp. 14-27.
- Borel, R. 1987. Sistemas silvopastoriles para la producción animal en el trópico y uso de árboles forrajeros en la alimentación animal. *Memorias*, 2.ª Conferencia Nacional de Producción y Utilización de Pastos y Forrajes Tropicales. VI Encuentro Nacional de Zootecnia. Cali, Colombia. pp. 194-233.
- Botero, R. 1988. Los árboles forrajeros como fuente de proteína para la producción animal en el trópico. *Memorias del I Seminario - Taller Sistemas Intensivos para la Producción Animal y de Energía Renovable con Recursos Tropicales*. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Cali, Colombia. pp.76-96.
- . 1992. Potencial productivo de las pasturas asociadas con leguminosas para el sistema de doble propósito en suelos ácidos de América Tropical. *Memorias del Taller “El Sistema de Producción Ganadero de Doble Propósito”*, evento organizado y financiado por la Fundación Internacional de Ciencias (IFS) y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. 17p.
- . 1993. El azadón químico, un implemento útil en el control integrado de malezas en praderas y cultivos. *Carta Ganadera*, Colombia. 30 (1): 34-39.
- . 2011a. El biodigestor de bajo costo, su aporte a la mitigación del cambio climático y su potencial para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe. *Biotecnología Práctica*. <http://bioreactorcrc.wordpress.com/> ; <http://www.kelcolombia.com/futura-11.pdf>
- . 2011b. Manejo de la vaca y del ternero en el sistema tropical de doble propósito. http://www.infocarne.com/bovino/vaca_ternero_sistema_tropical.htm
- . 2012a. Agricultura de precisión: Su aplicación para el establecimiento, mantenimiento y renovación de pasturas en suelos ácidos de América Tropical. Video - Conferencia Taller para técnicos de Fedegan-CIPAV. Lunes 29 de octubre del 2012. Cali, Colombia.
- . 2012b. Pastoreo Racional Voisin, una opción para intensificar y hacer amigable con el ambiente la producción con rumiantes en el trópico. *Encuentro Ganadero*. Hda. Las Delicias. Guácimo, Limón, Costa Rica.
- . 2012c. Renovación de pasturas degradadas en suelos ácidos de América Tropical. <http://www.contextoganadero.com/blog/renovación-de-pasturas-degradadas-en-suelos-acidos-de-america-tropical> <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/articulos/renovacion-pasturas-degradadas-suelos-t4630/p0.htm>

- Botero, R. y O. García. 1989. Implemento para la siembra de pastos y cultivos en pequeñas explotaciones. Pasturas Tropicales, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 11(3):29-30.
- Botero, R. y T.R. Preston. 1989. El uso de la caña de azúcar para el engorde intensivo del ganado. Carta Ganadera, Colombia. 26(6):44-48.
- Botero, R. y F. Fernández. 1990. Utilización de herbicidas en la siembra, establecimiento y mantenimiento de praderas asociadas con leguminosas en el Piedemonte Amazónico del Caquetá, Colombia. Memorias de la Primera Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) –Amazonía. Lima, Perú. 2:1033-1041.
- Botero, R. 1993. Opciones para el establecimiento de silvopasturas con árboles de múltiple propósito en el trópico. Memorias II Seminario Internacional “Sistemas Agrarios Sostenibles para el Desarrollo Rural en el Trópico”. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales, Universidad Javeriana, Instituto Mayor Campesino y Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Villavicencio, Colombia.
- . 1996. Estrategias para el establecimiento, manejo y utilización de pasturas mejoradas en las sabanas bien drenadas de América Tropical. Memorias del 2.º Seminario sobre “Alternativas para una mejor utilización de pastos cultivados”. Asociación de Ganaderos de Carabobo. Valencia, Venezuela. marzo de 1996. 62 p.
- Botero, R. y R. Russo. 2000. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. En Conferencia electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/Agrofor1.htm>
- Broom, D. M., F. A. Galindo, E. Murgueitio. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. Proc R Soc B, 280:20132025. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2025>
- Bronstein, G.E. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis M.Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 131 p.
- Budowski, G. 1981. The Socio-economic effects of forest management on the lives of people living in the area. The case of Central America and some Caribbean countries. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 16-17.

- Budowski, G. 1987. Living fences in tropical America: a widespread agroforestry practice. In *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*. Edited by H.L. Gholz. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp.169-178.
- Budowski, G., Russo, R.O. 1993. Live Fence Posts in Costa Rica: A Compilation of the Farmer's Beliefs and Technologies. *Journal of Sustainable Agriculture*, 3(2):65-87.
- Burney, J.A., S.J. Davis, and D.B. Lobell. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107(26):12052-12057. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0914216107
- Casasola, F., M. Ibrahim, C. Harvey y C. Kleinn. 2001. Caracterización y productividad de SSP tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 8(30):17-20.
- Chacón-León, M. y C.A. Harvey. 2013. Reservas de biomasa de árboles dispersos en potreros y mitigación al cambio climático. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1):17-26.
- Chavarría, A. 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 195 p.
- Chavarría, A; G. Detlefsen; M. Ibrahim; G. Galloway; R. de Camino. 2011. Análisis de la productividad y la contribución financiera del componente arbóreo en pequeñas y medianas fincas ganaderas de la subcuenca del río Copán, Honduras. *Agroforestería en las Américas*, 48:146-156.
- CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria). 2009. Módulo Sistemas Silvopastoriles. Núcleos Municipales de Extensión y Mejoramiento para Pequeños Ganaderos. Elaborado por Enrique Murgueitío, César A. Cuartas, Ma. Mercedes Murgueitío y Miguel F. Caro. Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN-FNG). Bogotá D.C., Colombia. 97 p.
- Cuartas, C.A., J.F. Naranjo, A.M. Tarazona, E. Murgueitio, J.D. Chará, J. Ku, F.J. Solorio, M.X. Flores, B. Solorio & R. Barahona. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Rev Colomb. Cienc. Pecu.*, 27:76-94.
- Doolittle, W.E. 1987. Las Marismas to Púnuco to Texas: The transfer of open range cattle ranching from Iberia through Northeastern Mexico. *Yearbook, Conference of Latin Americanist Geographers Yearbook*, 13:3-11.
- Durán, C. 1974. El sol ecuatorial en el futuro de la ganadería. Editorial Carvajal y Cia. Cali, Colombia.

- Esquivel, H., M. Ibrahim, C. Harvey, C Villanueva, T. Benjamin y F.L. Sinclair. 2003. Árboles dispersos en potreros de finca ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10 (39-40): 24-29.
- _____. 2011. Dispersed Trees in Pasturelands of Cattle Farms in a Tropical Dry Ecosystem of Costa Rica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3):933-941.
- Esquivel, M.J., C.A. Harvey, B. Finegan, F. Casanoves, C. Skarpe y A. Nieuwenhuyse. 2009. Regeneración natural de árboles y arbustos en potreros activos de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 47:76-84.
- FAO (Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Estadísticas mundiales. <http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor>
- García, J.L. 1999. La erosión hídrica: Mecanismos y modelos. Curso: Evaluación y Control de la Erosión. Universidad Politécnica de Madrid. España. 49 p.
- Giancola, S., S. Calvo, D. Sampietro, A. Marastoni, V Ponce, S. Di Giano y M. Storti. 2012. Corrientes. Ganadería bovina para carne. Factores que afectan la adopción de tecnología: enfoque cualitativo y avance cuantitativo. XLIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria (AAEA). Corrientes, 9-11 de octubre de 2012.
- Giraldo, A.; M. Zapata, y E. Montoya. 2009. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, Vol 16, número 4: 241-245.
- González-Valdivia, N., E. Barba-Macías, S. Hernández-Daumás y S. Ochoa-Gaona. 2014. Avifauna en sistemas silvopastoriles en el Corredor Biológico Mesoamericano, Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop.*, 62(3):1031-1052.
- Hernández Chávez, M., S. Sánchez Cárdenas y L.S. Guelmes. 2008. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. *Zootecnia Tropical*, 26(3):319-321.
- Harvey C.A. and W.A. Haver, 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems*, 44: 37-68.
- Harvey, C.A., C. Villanueva, H. Esquivel, R. et al. 2010. Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management*, 261:1664-1674.
- Harvey, C.A., M. Chacón, C.I. Donatti, et al. 2013. Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conservation Letters* 00 (2013) 1-14.

- Holl, K.D. 2002. Effect of shrubs on tree seedling establishment in an abandoned tropical pasture. *Journal of Ecology*, 90(1):179-187.
- Jiménez, F; Muschler, R. 2001. Introducción a la agroforestería. In: Jiménez, F; Muschler, R; Kopsell, E. eds *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Turrialba, CR. CATIE. p. 1-23. (Serie materiales de enseñanza N.º 46).
- Ibrahim, M.; M. Chacón; C. Cuartas; J. Naranjo; G. Ponce; P. Vega; F. Casasola; J. Rojas. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforest. Amér.*, 45: 27-36.
- Ibrahim, M. y L. Guerra. 2010. Análisis preliminar de los sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas Carbono neutral. Charla Magistral. VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. Septiembre 28-30, 2010. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Ibrahim, M.; D. Tobar; L. Guerra; C. Sepúlveda y N. Ríos. 2010. Balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región Chorotega. En: Ibrahim, M. y E. Murgueitio (Eds.). VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible (6º: 2010: Panamá, Panamá). Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. Resúmenes. 1.ª ed. Turrialba, Costa Rica: CATIE; CIPAV. Serie técnica. Reuniones técnicas, CATIE N.º 15. p. 27.
- Iglesias, J.M.; F. Funes; O.C. Toral; L. Simón; M. Milera 2011. Pastos y Forrajes, 34 (3): 241-257.
- Lafurie Rivera, J.F. 2008. Ganadería del Futuro: Responsabilidad Social y Ambiental. Prólogo. En *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. Editado por E. Murgueitio, C. Cuartas y J. Naranjo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. p. 13-17.
- Lal, R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. In: F. Montagnini (ed.). *Environmental Services of Agroforestry Systems*. Haworth Press, New York. pp. 1-30.
- Leiva, J.M. (ed.) 2009. *Manual de Agroforestería para Zonas Secas y Semiáridas*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales/Mecanismo Mundial de la UNCCD (Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía). Guatemala. 102 p. <http://www.marn.gob.gt/documentos/guias/documentos/agroforesteria.pdf>

- Lopera, J. J; D, M, Castaño.; J, D, Chará.; E. Murgueitio.; F. Uribe.; J, Muñoz.; L,M, Valencia.; J,E, Rivera.; J, Barahona y R, Botero. 2013. El aforo de forrajes: Práctica que facilita el manejo apropiado de praderas. CARTA FEDEGAN N.º 134. Federación Colombiana de Ganaderos. pp. 62-66.
- López, A. y G. Detlefsen. 2012. Agroforestería y la producción de madera. En Producción de madera en Sistemas Agroforestales de Centroamérica. Editado por G. Detlefsen y E. Somarriba. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 9-20.
- Luccerini, S.A., E.D. Subovsky y E. Borodowski. 2013. Sistemas Silvopastoriles: una alternativa productiva para nuestro país. Apuntes Agroeconómicos (Universidad de Buenos Aires), Año 7 - N.º 8. http://www.agro.uba.ar/apuntes/no_8/sistemas.htm
- Marschner, H. 2011. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edition. Edited by Petra Marschner. Academic Press, London, England. 672 p.
- Martínez-Sánchez, J.L. 2006. Pasture trees in tropical México: the effect of soil nutrients on seedling growth. *Rev. Biol. Trop.*, 54(2):363-370.
- Meza, A., C. Sabogal y W. de Jong. 2006. Rehabilitación de áreas degradadas en la Amazonia peruana. Revisión de experiencias y lecciones aprendidas. CIFOR, Bogor, Indonesia. 127 p.
- Molina Durán, C.H. 2012. Experiencia de una Empresa Familiar Agropecuaria Centenaria y su Impacto en el Desarrollo Sostenible. Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia. Sociedad Familiar Molina Durán y Cia. Trabajo presentado en Seminario sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. CIPAV, Cúcuta, Noviembre 12 de 2012.
- Montagnini, F. 2010. Restoration of degraded pastures using agrosilvopastoral systems with native trees in the Neotropics. In: Montagnini, F., Francesconi, W. and Rossi, E. (eds.). *Agroforestry as a tool for landscape restoration*. Nova Science Publishers, New York.
- . 2012. Sistemas silvopastoriles, una alternativa a la ganadería convencional contribuyendo a la mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina. Energy and Climate Change Partnership of the Americas. En línea: <http://www.partners.net/images/partners/Montagnini%20ECPA%20silvopastoral%20Blog%20Spanish%205%20diciembre%202012.pdf>
- Mora, V. 2013. Sistemas Silvopastoriles y los Servicios Ecosistémicos. *Revista de la Universidad Técnica Nacional (UTN)*, 65:6-9.
- Murgueitio, E. 2003. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development* 15 (10). Consultada en Junio del 2014, de <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/10/murg1510.htm>

- _____. 2010. Progresos en el conocimiento y aplicación de Sistemas Silvopastoriles en América Latina. Charla Magistral. VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. Septiembre 28-30, 2010. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Murgueitío E, y M. Ibrahim. 2001. Agroforestería pecuaria para la reconversión de la ganadería en Latinoamérica. *Livestock Research for Rural Development*. (13) 3: <http://www.cipavorg.co/lrrd/lrrd13/3/ly133.htm>.
- Murgueitío E., C. Cuartas y J. Naranjo (eds). 2008. *Ganadería del Futuro: Investigación para el Desarrollo*. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 490 p.
- Murgueitío, E. y M. Ibrahim. 2009. Ganadería y Medio Ambiente en América Latina. En: Murgueitío, E., Cuartas, C. y J. Naranjo (eds.). *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. 2da. Ed. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. pp. 20-39.
- Murgueitío, E., J. Chará, A. Solarte, F. Uribe, C. Zapata y J. Rivera. 2013. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*, 26:313-316.
- Nair, P.K.R. 1997. *Agroforestería*. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 542 p.
- Newton, A.C. y N. Tejedor (Eds.). 2011. *Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal Estudios de caso en las zonas secas de América Latina*. Gland, Suiza UICN y Madrid, España Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas 409 pp.
- OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales). 2005. Criterios e indicadores revisados de la OIMT para la ordenación sostenible de los bosques tropicales con inclusión de un formato de informes. Serie OIMT de políticas forestales N.º 15. [Revised OIMT criteria and indicators for the sustainable management of tropical forests including reporting format. OIMT Policy Development Series No 15].
- Otárola. A.; Martínez, H.R.; Ordoñez, R. 1985. Manejo y producción de cercas vivas de *Gliricidia sepium* en el noroeste de Honduras. Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR) y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tegucigalpa, Honduras. 24 p.
- Parra, G., G. Prado, E. Villalobos, D. Villegas, C. Hernández y R. Botero. 2009. Utilización de la Proyección de Hatos para estimar los ingresos netos, por concepto de ventas anuales de productos en una Empresa Ganadera Tropical. *Foro Electrónico*

Ergommix. www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/manejo/foros/articulo-utilizacion-proyeccion-hatos-t17221/124-p0.htm

- Patiño V. M. 2002. Historia y distribución de los frutales nativos del neotrópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Asohofrucol y Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. Publicación CIAT # 326. Cali, Colombia. 655 p.
- Perfecto, I. & J. Vandermeer. 2010. The agroecological matrix as alternative to the landsparring/agriculture intensification model. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107(13):5786–5791. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0905455107
- Pezo, D. 2009. Los pastizales seminaturales de América Central: Un recurso forrajero poco estudiado. *Agroforestería en las Américas*, 47:5-6.
- Pezo, D. y M. Ibrahim. 1998. Sistemas silvopastoriles. 2. ed. Turrialba, CR, Proyecto agroforestal CATIE-GTZ. 275 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal N.º 2).
- Pezo, D.; M. Ibrahim; A. Acosta y F.J. García. 2012. Potencial de sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción bovina en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente (GAMMA) y Oficina Subregional de la FAO para América Central-SLM. 79 p.
- Pinzón, M.E. 1984. Historia de la ganadería bovina en Colombia. Suplemento Ganadero. Vol. 4 N.º 1. Banco Ganadero. Bogotá, Colombia. 208 p.
- Ríos, N., H. Andrade y M. Ibrahim. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. *Zootecnia Tropical*, 26(3):183-186.
- Rojas M., J; M. Ibrahim y H.J. Andrade. 2009. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.*, 10(2):214-223.
- Romo-Lozano, J.L., Y. García-Cruz, M. Uribe-Gómez, D. Rodríguez-Trejo. 2012. Prospec-tiva financiera de los sistemas agroforestales de El Fortín, Municipio de Atzalan. *Re- vista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1):43-55.
- Roncallo B., Navas A. y A. Caribella. 1996. Potencial de los frutos de plantas nativas en la alimentación de rumiantes. En *Silvopastoreo: alternativa para mejorar la sostenibili- dad y competitividad de la ganadería colombiana*. Compilación de las Memorias de dos seminarios internacionales sobre Sistemas Silvopastoriles. A. Uribe C. (compila- dor) Corpoica. Bogotá, Colombia. pp. 231-244.
- Russo, R.O. 1989. Evaluating alder-endophyte (*Ainus acuminata*-*Frankia*-*Mycorrhizae*) inte- ractions. I. Acetylene reduction in seedlings inoculated with *Frankia* strain Ar13 and *Glomus* intra-radices, under three phosphorus levels *Plant and Soil* 118, 151-155

- _____. 1990. Evaluating *Ainus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 10, 241-252.
- _____. 1994. Los sistemas agrosilvopastoriles en el contexto de una agricultura sostenible. *Revista Agroforestería en las Américas*, 1(2):10-13.
- _____. 1996. Agrosilvopastoral systems: a practical approach to sustainable agriculture. *J. Sustainable Agriculture* 7(4): 5-17.
- _____. 2013. Curso Sistemas Silvopastoriles. Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, Universidad de Costa Rica. San José, CR.
- Russo, R.O. & R. Botero Botero. 1996. Nitrogen Fixing Trees and Shrubs for Animal Production on Acid Soils. In *Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils: A Field Manual*. Edited by Mark Powell. Chapter 4. Nitrogen Fixing Tree Association. pp. 31-39.
- Russo, R.O. y R. Botero. 1999. El Componente Arbóreo como Recurso Forrajero en los Sistemas Silvopastoriles. *Memorias V Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal*. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales, Barinas, Venezuela. 20-22 de marzo de 1999. Reproducido en 2005 en Sitio Argentino de Producción Animal. Manejo Silvopastoral o Forestogandero. 9 p. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/42-componente_arboreo.pdf
- Sánchez, P.A. Y R.F. Isbell. 1979. Comparación entre los suelos de los trópicos de América y Australia. En: Tergas, L.E. y P.A. Sánchez (Eds). *Producción de Pastos en Suelos Ácidos de los Trópicos*. CIAT, Cali, Colombia. pp. 29-58.
- Spain, J.M. y R. Gualdrón. 1991. Degradación y rehabilitación de pasturas. En: C.E. Lascano y J.M. Spain (Eds.). *Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de la investigación*. Sexta Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Veracruz, México. pp. 269-283.
- Sluyter, A. 1996. The ecological origins and consequences of cattle ranching in sixteenth-century New Spain. *Geographical Review*, 86(2):161-177.
- Somarriba, E. 1986. Effects of livestock on seed germination of guava (*Psidium guajava* L.). *Agroforestry Systems* 4:233-238.
- _____. 2001. El análisis y mejoramiento de las plantaciones lineales de una finca. *Agroforestería en las Américas* 8(30):55-58.
- _____. 2009. Planificación agroforestal de fincas. Módulos de Enseñanza Agroforestal No. 6. *Materiales de Enseñanza N.º 49*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 100 p.

- Somarriba, E.; J. Beer; J. A. Orihuela; H. Andrade; R. Cerda; F. DeClerck; G. Detlefsen; M. Escalante; L. A. Giraldo; M. A. Ibrahim; L. Krishnamurthy; V. E. Mena; J. R. Mora; L. Orozco; M. Scheelje; J. J. Campos. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. In: Nair, P.K.R.; D. P. Garrity (eds.). *Agroforestry: The future of global land use*. Springer, The Netherlands. pp. 429-453.
- Soto, S.; J.C. Rodríguez; R. Russo. 2009. Digestibilidad in vitro en forrajes tropicales a diferentes edades de corte. *Tierra Tropical*, 5(1):9-15.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M y de Haan, C. 2009. La larga sombra del Ganado: problemas ambientales y opciones. FAO (Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).
- Tobar López, D, M. Ibrahim, F. Casasola. 2007. Diversidad de mariposas en un paisaje agropecuario del pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:58-65.
- Uribe F., A. Zuluaga, L. Valencia, E. Murgueitio, A. Zapata, L. Solarte et al. 2011. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78 p. <http://www.cipav.org.co/pdf/1.Establecimiento.y.manejo.de.SSP.pdf>
- Uribe F., Zuluaga A.F., Valencia L., Murgueitio E., Zapata A., Solarte L., et al. 2011. Establecimiento y manejo de Sistemas Silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGÁN, CIPAV, FONDO ACCIÓN, TNC. Bogotá, Colombia. 78 p.
- Uribe F., A.F. Zuluaga, L. Valencia, E. Murgueitio y L. Ochoa. 2011. Buenas prácticas ganaderas. Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGÁN, CIPAV, FONDO ACCIÓN, TNC. Bogotá, Colombia. 82 p.
- Vera, R.R. y C. Seré (Eds.). 1985. *Sistemas de producción pecuaria extensiva*; Brasil, Colombia, Venezuela. Informe final del Proyecto ETES (Estudio Técnico y Económico de Sistemas de Producción Pecuaria) 1978-1982. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 536 p.
- Villacís, J. 2008. Contribución de los árboles dispersos en potreros a los sistemas de producción ganadera en río Frío, Costa Rica (en línea). Cali, Colombia. Disponible en www.agroforesteriaecologica.com.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. CAB International-International Council for Research in Agroforestry. Exeter, UK. 276 p.

- Zahawi, R.A. 2005. Living Fence Species as a Tool for Tropical Restoration. *Restoration Ecology*, 13(1): 92-102.
- Zuluaga, A.F., A. Zapata, F. Uribe, E. Murgueitio, C. Cuartas, J. F. Naranjo, C.H. Molina, L.H. Solarte y L. Ma. Valencia. 2011. Capacitación en establecimiento de sistemas silvo-pastoriles. FEDEGAN-SENA. Bogotá, Colombia. 32 p.
- Zuluaga A.F., C. Giraldo y J. Chará. 2011. Servicios ambientales que proveen los Sistemas Silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGÁN, CIPAV, FONDO ACCIÓN, TNC. Bogotá, Colombia. 36 p.

Anexos

Anexo 1

Establecimiento de cercas vivas

Las cercas vivas deberán sembrarse mixtas con un seto a cada lado y con árboles de mayor altura en el centro. Esta disposición de la siembra permite, en el futuro, prescindir del alambre y facilita el ramoneo directo de los animales para cosechar el forraje. Los arbustos del seto se siembran con material vegetativo o trasplante en forma de X, con dos a tres líneas de arbustos en cada lado de la cerca. Se puede sembrar con *Hibiscus rosa-sinensis* de flores de diversos colores o *Morus alba*, pero también se pueden sembrar con especies que poseen espinas como *Swinglea glutinosa*.

Los árboles, además de reemplazar el cerco muerto, generan servicios ambientales, mejoran las condiciones de bienestar animal y de nutrición con un forraje altamente proteico. El establecimiento de las cercas vivas se puede hacer con arbolitos de vivero o por estacas.

Al utilizar arbolitos de vivero, se debe tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Sacar el arbolito de la bolsa y retirarla del lote luego de la siembra.
- No permitir, durante la siembra, que queden bolsas de aire. Cubrir el cuello de la raíz para evitar encharcamientos.
- No permitir que la raíz se enrosque al sembrar el arbolito.
- Colocar una línea de cerca electrificada para evitar el ramoneo del arbolito, mientras se establece como cerca viva.

Cuando se usa el método de siembra por estaca para la siembra inicial de una cerca viva, es preferible utilizar especies de alta rusticidad y tolerancia frente a condiciones adversas. Se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Clave postes muertos de buena madera a distancias entre 3 a 5 metros, según la topografía del terreno. Deben ser gruesos para que soporten las altas tensiones del

templado del alambre. En terrenos muy ondulados se recomienda clavar postes intermedios, cada uno a cuatro metros.

- Corte las estacas durante la luna nueva (creciente), de esta forma se aprovecha el efecto gravitacional que ejerce la luna sobre los líquidos intercelulares en los momentos de máxima absorción de agua. Esta práctica permite que las estacas cortadas tengan suficientes reservas de agua para soportar los períodos de almacenaje previo a la siembra, e incluso iniciar el proceso de rebrote.
- Corte las estacas de 2,5 metros de largo y de 3 a 5 cm de diámetro. El corte se debe hacer en bisel a ambos extremos. Elimine las hojas y las ramas.
- Coloque las estacas bajo sombra durante dos a cuatro días. Tenga cuidado de no maltratar las yemas foliares o los lugares de rebrote. Apíelas en grupos en posición vertical bajo la sombra hasta el momento de la siembra, con este procedimiento se pueden seleccionar las mejores estacas al momento del establecimiento para elegir las con alta presencia de rebrotes radiculares y foliares.
- Entierre las estacas vivas durante la época de lluvias en un hueco con un mínimo de 30-50 centímetros de profundidad y apriete el suelo alrededor de la estaca enterrada. El suelo puede mezclarse con arena o con cascarilla de arroz y con abono orgánico.

Anexo 2

Escarificación química de semillas forrajeras

1. *Brachiaria* spp.: 100 a 150 cc de H_2SO_4 (ácido sulfúrico comercial) por cada kilogramo de semilla clasificada (limpia), durante 15 minutos para *Brachiaria decumbens*, *B. humidicola* y *B. brizantha*. Para *B. dictyoneura*, durante 30 minutos.
2. *Stylosanthes* spp.: 60 a 75 cc de H_2SO_4 por cada kilogramo de semilla clasificada en cáscara, durante 15 minutos.
3. *Centrosema* spp.: 40 cc de H_2SO_4 por cada kilogramo de semilla clasificada, durante 12 minutos.
4. *Pueraria phaseoloides* (kudzu): 40 cc de H_2SO_4 por cada kilogramo de semilla seleccionada, durante 10 minutos.
5. *Leucaena leucocephala*: poner a hervir agua, una vez se apaga el fuego, se introduce la semilla durante 5 minutos.
6. *Arachis pintoi* y *Cratylia argentea*: sus semillas no necesitan escarificarse para lograr una alta germinación.

Se tiene que utilizar semilla limpia (sin basura), para evitar que se incendie por el excesivo calentamiento que produce el ácido. Cada tipo de semilla se deposita en un recipiente plástico para mezclar continuamente con una paleta de madera. La semilla depositada dentro de un anejo o malla plástica se debe lavar **rápidamente** con abundante agua limpia, seguidamente se debe poner a secar al sol (durante dos días de buen sol).

Nota: Los obreros deben protegerse de los vapores y del ácido. El agua del lavado no deberá verterse en agua corriente o almacenada, a menos que haya sido neutralizada previamente su acidez al mezclar con cal apagada.

Anexo 3

Metodología para la inoculación de las semillas y el material vegetativo de leguminosas forrajeras tropicales herbáceas, arbustivas y arbóreas

La inoculación de las semillas y del material vegetativo de leguminosas forrajeras es una actividad que se puede realizar fácilmente en la finca, pero requiere cuidado. En el caso de emplear semilla se recomienda usar un balde (con capacidad para tratar 3 kg de semilla cada vez) y los siguientes materiales:

- a) El inoculante: usar una cepa de *Rhizobium* específica para la leguminosa que se va a sembrar.
- b) Un pegante: se puede usar una solución de goma arábica al 40%, preparada en la propia finca. No se debe comprar la solución ya preparada porque contiene fenol, como preservante, el cual mata el rizobio. Como adherente o pegante también se puede usar una solución de azúcar al 40%, o una mezcla de almidón al 8% en agua caliente (engrudo) o una solución de leche hervida con azúcar al 25%. Antes de utilizarla, la solución se debe dejar enfriar a temperatura ambiente.
- c) Un material para recubrir la semilla: se puede usar roca fosfórica (fosforita), cal agrícola o cal dolomítica, yeso, o carbón vegetal molido.

La inoculación se debe hacer el mismo día de la siembra. El procedimiento general incluye los siguientes pasos:

El día de la siembra

1. Prepare la solución pegante en agua caliente hervida; para tres kg de semilla use cuatro cucharadas de goma molida o de azúcar y cinco cucharadas de agua. Si va a usar engrudo use una cucharada de almidón por cada 11 cucharadas de agua caliente, y si va a usar leche, use siete cucharadas de leche líquida caliente o una cucharada de leche en polvo y tres de azúcar. Dejarla enfriar antes de usar.
2. Si las semillas están tratadas con fungicidas (generalmente teñidas de color violeta), lávelas y séquelas a la sombra rápidamente).
3. En un balde seco y limpio deposite hasta 3 kilos de la semilla de leguminosa por inocular.
4. Agregue aproximadamente 9-10 cucharadas soperas de la solución pegante (tres cucharadas por cada kilo de semilla y mezcle bien con la mano o con una cucharón de madera).
5. Eche enseguida en el balde 210 g de inoculante específico (70 g por cada kilo de semilla) y mezcle de nuevo hasta que el inoculante se pegue a la cáscara de las semillas.

6. Adicione 900 a 1 200 g de roca fosfórica, cal o yeso por cada 3 kilos de semilla (300 a 400 g por cada kilo de semilla), o 300 a 450 g de carbón vegetal molido (100 a 150 g por cada kilo de semilla) y mezcle muy suavemente con la mano, rotando el balde para recubra bien las semillas hasta que se sequen (se desprenden unas de otras).
7. Esparza las semillas a la sombra y déjalas secar durante 15 a 20 minutos.
8. Siembre lo más pronto posible (antes de 24 horas), para evitar que las semillas se calienten.

Inoculación con *Rhizobium* del material vegetativo de *Arachis pintoi*

1. Dependiendo de la densidad de siembra, se pueden necesitar entre 200 a 500 kg/ha del material vegetativo de maní forrajero perenne (1 m vs. 50 cm de distancia de siembra en cuadro).
2. La mezcla para inocular se prepara con el inóculo específico (1 a 2 kg/ha), disuelto en 10 a 20 litros de agua hervida fría y no clorada. Se le agrega 1 kg de melaza, de tapa de dulce, panela raspada o de azúcar, y se revuelve luego manualmente con las manos limpias, hasta lograr su completa disolución.
3. Una vez cortado el material vegetativo, para sembrar el mismo día, se coloca sobre una carpa o piso de cemento una capa delgada (10 cm). Se esparce la mezcla líquida del inoculante de manera uniforme, con una regadera de jardín, y se procede a sembrar el material vegetativo.

Anexo 4

Establecimiento de silvopasturas y renovación de pasturas degradadas

La renovación de pasturas degradadas debe mejorar el drenaje y la capacidad de infiltración y retención del agua proveniente de las lluvias o del riego; reducir la erosión laminar; acelerar la mineralización de la materia orgánica; incorporar al suelo las excretas animales y el colchón de hojas muertas; renovar y dividir las raíces y las cepas de las plantas forrajeras; uniformizar su rebrote; estimular su vigor, cobertura y producción de semilla e incrementar sensiblemente la población y diversidad de leguminosas nativas y; finalmente, aumentar la capacidad de carga y la productividad animal.

Planificación

Debido a lo anterior es importante planificar anticipada y apropiadamente el mercadeo de los productos, la justificación económica, el o los sitios apropiados de la finca, área, especies forrajeras adaptadas, calidad y cantidad de mano de obra, semilla, fertilizante, maquinaria e infraestructura requeridos para la siembra, el manejo y la utilización eficiente y racional de las pasturas mejoradas.

Teniendo en cuenta las diferencias en el comportamiento de las especies forrajeras frente a la deficiencia o exceso de humedad en el suelo, es importante incluir una o más gramíneas, leguminosas y especies multipropósito en la asociación para asegurar: mayor cobertura, mayor producción de forraje por unidad de área, mayor capacidad de carga, mayor control cultural de malezas, mayor disponibilidad y calidad de forraje durante las severas épocas anuales de sequía y de lluvias y; como consecuencia de todo lo anterior, lograr su persistencia productiva estable.

Es necesario tener en cuenta que, en general, las especies forrajeras introducidas y recomendadas no toleran el encharcamiento prolongado del suelo y que, por lo tanto, no se deben sembrar en áreas bajas inundables, ni en los esteros de los ríos. Sin embargo, algunas especies soportan el encharcamiento con agua corriente, siempre que no permanezcan completamente sumergidos por largo tiempo, o bien, toleran un nivel freático alto permanentemente.

Preparación del suelo

La preparación del suelo se debe iniciar cuando se tenga la seguridad de conseguir la semilla de las especies introducidas escogidas, ya que con la labranza se reducen o aún desaparecen las gramíneas forrajeras nativas y proliferan algunas malezas.

La época más conveniente para iniciar la labranza del suelo es hacia el final de las lluvias o al comienzo de la época seca.

La fase final de la labranza mecanizada convencional y de la labranza reducida o de la labranza cero, se deben hacer al inicio del período de lluvias. Para la siembra de silvopasturas en las sabanas y bosques pueden utilizarse tres tipos de labranza:

1. Labranza mecanizada convencional

Se recomienda realizar primero la eliminación de la vegetación existente sobre el lote (sobrepastoreo o quema con fuego de la vegetación), para facilitar la acción de los implementos de labranza, e inmediatamente o sin dejar transcurrir más de un mes, se debe iniciar la labranza.

En los suelos franco-arcillosos, predominantes en las sabanas y selvas, se recomienda utilizar una rastra pesada (rastrillo californiano, *big rome* u *off set disc*) y un arado de cincel parabólico. Al inicio de la época seca se debe realizar un pase de rastra, luego uno o dos pases cruzados con el cincel, y finalmente, al inicio de la época de lluvias, uno o hasta un máximo de dos pases cruzados de rastra, con dos a tres puntos de traba, procurando que el último pase de rastra se haga en contra de la pendiente o declive del lote, para reducir el riesgo de erosión.

En los suelos franco-arenosos, es conveniente efectuar un pase inicial con el arado de cincel para traer, desde las capas más profundas hacia la superficie, una alta proporción de arcilla, con el fin de mejorar su estructura. Finalmente, al inicio de las lluvias, se debe hacer un solo pase con la rastra pesada y con traba, en dirección contraria a la pendiente. Tanto en los suelos arcillosos como en los suelos arenosos, el arado de cincel elimina temporalmente la compactación profunda, destruye algunos hormigueros, ejerce un alto control de malezas y permite erradicar especies forrajeras introducidas que se quieran replazar.

El suelo preparado debe quedar con un control total de la vegetación anterior y su superficie debe quedar rugosa, con terrones, y cubierta con restos de raíces y rastrojo. Se debe evitar la labranza excesiva, puesto que el suelo muy suelto favorece la erosión y permite que con las lluvias se forme una capa o costra superficial dura e impermeable. Esta costra sella el suelo favoreciendo la formación de corrientes de agua que arrastran parte de la semilla y dificultan o impiden la emergencia de las plántulas recién germinadas.

Al finalizar la labranza convencional es necesario retardar la siembra hasta cuando caigan sobre el lote algunas lluvias fuertes para lograr una buena consolidación del suelo. De lo contrario, existe el riesgo de que las semillas de las especies forrajeras sembradas se entierren demasiado, por su tamaño pequeño, y se retarde o hasta se impida su germinación.

2. Labranza reducida o mínima

Gracias a las buenas características físicas de la mayoría de estos suelos y al alto vigor, agresividad y adaptación de las especies forrajeras recomendadas, es posible sembrar y lograr el establecimiento exitoso de pasturas con una labranza mínima, lo que permite

reducir los costos de establecimiento y los riesgos de erosión. En este sistema, se pueden hacer un máximo de dos pases de rastrillo pesado, con toda la traba, en cobertura uniforme o en franjas, eliminando la vegetación nativa total o parcialmente al inicio del período de lluvias.

Otra opción consiste en utilizar un implemento diseñado con palas metálicas con aletas anchas contiguas, sobre una barra de herramientas. Este implemento permite cortar superficialmente las raíces de las plantas, provocando su muerte y dejando la superficie del suelo levemente removida y con gran cantidad de rastrojo seco, que lo protege de la erosión y de la desecación.

3. Labranza cero

Se puede prescindir de la labranza si se elimina la vegetación en parches, franjas o uniformemente (Figuras 4.1, 4.2 y 4.3), con la aplicación racional de un herbicida postemergente, no selectivo ni residual. Los herbicidas no selectivos controlan totalmente la vegetación, favoreciendo la aireación del suelo debido a la destrucción y descomposición posterior de las raíces. Su modo de acción evita la erosión y reduce el costo de preparación.



Figura A4.1. Labranza cero mediante la aplicación de un herbicida químico en parches localizados para la introducción de arbustos y de árboles para establecer una silvopastura. Foto: R. Botero.

La aplicación del herbicida se debe hacer durante el inicio del período de lluvias, luego de un pastoreo fuerte o sobre la vegetación en rebrote, de tal manera que la vegetación que se va a reemplazar se encuentre en estado tierno y crecimiento activo. Se puede usar uno de los siguientes productos no residuales:

Herbicidas sistémicos no selectivos, como los elaborados con base en glifosato, aplicados a razón de 720 g/ha de ingrediente activo, disueltos en 400 litros de agua por ha, a razón de 2 l/ha (100 cc de producto comercial por bomba de 20 litros). Herbicidas de contacto,

no selectivos elaborados con base en Paraquat, a razón de 200 g/ha de ingrediente activo, disueltos en 400 litros de agua por ha. En dosis de 1 l/ha (50 cc de producto comercial por bomba de 20 litros).



Figura A4.2. Labranza cero, lograda con la aplicación de un herbicida químico en franjas, en curvas de nivel para la introducción de arbustos y de árboles en contra de la pendiente del lote, en dirección al recorrido del sol (oriente a occidente) y en tres bolillo, para establecer una silvopastura. Foto: R. Botero.



Figura A4.3. Labranza cero, lograda con la aplicación de un herbicida químico en cobertura total, en curvas de nivel para la introducción de pastos, arbustos y de árboles en contra de la pendiente del lote, en dirección al recorrido del sol (oriente a occidente) y en tres bolillo, para establecer una pastura. Foto: R. Botero.

Inmediatamente después de la aplicación del herbicida, se puede sembrar la pastura con semilla o con material vegetativo, ya que los herbicidas mencionados anteriormente no son residuales, por lo tanto, no afectan la emergencia de las plántulas provenientes de semilla, ni el rebrote del material vegetativo de las gramíneas, leguminosas u otras plantas sembradas.

Propagación con semilla

• Prueba en finca de la calidad de la semilla

Debido a la existencia de múltiples fuentes, a la calidad variable y al alto costo de la semilla comercial de especies forrajeras, es indispensable que los ganaderos conozcan previamente la calidad y el vigor de la semilla disponible para lograr un establecimiento exitoso de pasturas. Para el efecto, se debe realizar una prueba de germinación o de emergencia que consiste en:

- Mezclar, lo mejor posible, por separado la semilla de cada especie (puede ser por lote).
- Abrir el empaque, sacar al azar y contar cuatro grupos, cada uno de 100 semillas no escogidas.
- Disponer de cuatro recipientes (platos plásticos o macetas) cuyo fondo tenga pequeñas perforaciones para drenaje y llenarlos con suelo o con arena fina.
- Distribuir cada grupo de 100 semillas sobre la superficie del suelo de cada recipiente y tapar superficialmente las semillas con el mismo suelo.
- Colocar los cuatro recipientes, con la semilla ya sembrada, fuera del alcance de los niños, aves, roedores, insectos y de animales domésticos en general.
- Regar suavemente todos los días el suelo de cada recipiente con agua limpia.
- Contar, anotar y retirar del recipiente cada siete días las plántulas con desarrollo normal.
- Realizar el último conteo a los 28 días de iniciada la prueba y calcular los porcentajes de germinación.
- Sumar el número de semillas germinadas en cada recipiente, durante los cuatro conteos de cada siete días, así se obtienen cuatro porcentajes, los cuales a su vez se promedian.
- La misma prueba debe realizarse a cada lote de semilla de distinta procedencia y especie forrajera.

• Semillas de gramíneas

La densidad de siembra para las gramíneas debe ser de 1 kg/ha de semilla pura germinable (SPG), es decir, de semilla en grano que ha sido limpiada (sin basura), está llena (no vana), y su embrión tiene capacidad para germinar en corto tiempo (hasta en un mes) después de la siembra.

La semilla comercial de gramíneas puede tener entre 20 a 35% de germinación. Por lo tanto, puede ser necesario sembrar entre 3 y 5 kg/ha respectivamente, de la semilla comercial clasificada. Para el establecimiento de pasturas asociadas con leguminosas, la cantidad de semilla de las gramíneas se puede reducir hasta en un 30%, siempre que se utilicen semillas clasificadas de alta calidad.

Para la siembra de algunas gramíneas y leguminosas como: *Brachiaria humidicola*, *B. mutica*, *B. plantaginea*, *B. arrecta* y *Arachis pinto*, se puede usar material vegetativo. La producción de semilla sexual (en grano) de estas especies es baja en América tropical, debido aparentemente a su bajo potencial para producir semilla y al ataque de insectos durante su floración. Aunque hay la posibilidad de importar la semilla de otros países, se corre el riesgo de introducir enfermedades, plagas y malezas que no existen en el medio.

- **Semilla de leguminosas**

Para la siembra de pasturas asociadas, la semilla de las leguminosas deberá sembrarse a razón de 1 a 2 kg/ha, si ha sido escarificada. Si no ha sido escarificada se deben sembrar entre 3 a 5 kg/ha. Para la siembra de *Arachis pinto* cv., maní forrajero perenne, cuya semilla no necesita ser escarificada, se deben sembrar entre 5 a 10 kg/ha de semilla clasificada.

Para la escarificación de semillas de especies forrajeras se puede aplicar la metodología que se describe en el Anexo 2 de este Módulo.

- **Inoculación de semillas de leguminosas**

Para poder realizar la fijación de nitrógeno atmosférico, las leguminosas requieren de la presencia de *Rhizobium* en sus raíces, esto es, de bacterias con habilidad especial para la formación de nódulos radiculares fijadores del nitrógeno. Los rizobios se encuentran comúnmente en el suelo, pero a menudo fallan en la producción efectiva de nódulos porque no están en cantidad suficiente, o porque no corresponden a cepas específicas para establecer la simbiosis con una leguminosa dada. Por lo tanto, es conveniente inocular la semilla de las leguminosas forrajeras con bacterias específicas, con el fin de asegurar e incrementar la fijación de nitrógeno.

En el laboratorio es posible cultivar y multiplicar tales bacterias y conservarlas por varios años en recipientes de vidrio a temperatura ambiente, si están liofilizadas (secas y al vacío), o hasta por seis meses si están mezcladas con turba (suelo con alto contenido de materia orgánica) y se mantienen en refrigeración, pero sin congelarlas. La semilla inoculada se peletiza, esto es, se recubre con carbón vegetal finamente molido, con roca fosfórica, con cal agrícola, dolomítica o con yeso, para proteger inicialmente los rizobios.

Para la inoculación de semillas y material vegetativo de leguminosas con *Rhizobium* específico se puede aplicar la metodología que se describe en el Anexo 3 de este Módulo.

- **Siembra con semilla**

Es recomendable utilizar semillas producidas en forma comercial con garantía certificada. Sin embargo, cuando la semilla de las gramíneas y de las leguminosas aquí recomendadas, se produce artesanalmente en la finca, es necesario almacenarla durante seis a ocho meses después de la cosecha, en un ambiente fresco y seco, para romper la

latencia fisiológica que retarda su germinación. La semilla debe almacenarse refrigerada (no congelada) y con baja humedad, o en un clima frío y seco. Para su conservación y evitar el ataque de gorgojo se puede mezclar uniformemente (dentro de una mezcladora de concreto) cada tonelada de la semilla de leguminosas o de otras plantas de múltiple propósito, herbáceas, arbustivas y arbóreas con: 50 kilogramos de ceniza y 12 litros de aceite vegetal. El aceite no deberá quedar goteando en la semilla tratada (CIPAV 2010).

Una vez se rompe la latencia fisiológica, la semilla se debe limpiar, clasificar y escarificar para romper su dormancia física y luego se debe sembrar pronto, previa una prueba de germinación para determinar la cantidad que se deberá sembrar por hectárea.

En las condiciones climáticas de Mesoamérica, la época de siembra más conveniente es el inicio del período lluvioso (abril y mayo). Si no se puede sembrar en esta época es mejor esperar hasta agosto o septiembre, no es recomendable hacerlo durante los meses con mayor abundancia de lluvias (junio y julio). De octubre en adelante las lluvias se hacen más o menos frecuentes y su distribución irregular, lo que puede afectar el buen establecimiento de las pasturas.

La siembra se debe realizar sobre suelo húmedo, después de las primeras lluvias. Para ello se deben tener disponibles en la finca los insumos y la maquinaria que se requiera. Es importante reservar hasta un 10% de la semilla para las resiembras, casi siempre son necesarias.

Es preferible utilizar una sembradora en surcos o una encaladora, ya que permiten fertilizar únicamente las especies sembradas y disminuir así la incidencia de malezas. La distancia entre surcos debe ser de 50 a 60 cm. Con la encaladora se pueden sembrar las semillas de las gramíneas y de las leguminosas, bien sea sobre el mismo surco, o bien en surcos o franjas individuales, mediante la división interna de la tolva. La sembradora se debe calibrar previamente con la mezcla de la semilla más el abono fosfórico para que ambos materiales queden uniformemente distribuidos sobre el terreno.

Hay que tener en cuenta que la semilla de *Andropogon*, usada en la densidad recomendada, no se esparce fácilmente con la voleadora, la sembradora en surcos o la encaladora. Para obviar esa dificultad se puede sembrar primero la semilla de la leguminosa mezclada con el fertilizante, y posteriormente se esparce la semilla de esta gramínea en forma manual o con sembradoras manuales. Esto se puede hacer con obreros a pie, desde un vehículo, o desde un remolque enganchado a un tractor.

En el caso de siembras de *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. dictyoneura* o *B. brizantha* y de *Panicum maximun* de los diversos cultivares comerciales disponibles actualmente, asociadas con leguminosas, sí es posible mezclar ambas semillas con el fertilizante fosfórico y esparcirlas simultáneamente con la sembradora en surcos, con la encaladora y con la voleadora o trompo.

Durante las siembras con semilla se debe proceder a su cubrimiento simultáneo. Para ello pueden utilizarse ramas de árboles, que no recojan suelo durante el arrastre, un tronco liviano, cadenas o un eje con llantas viejas continuas a manera de rodillo compactador giratorio, enganchado detrás de la sembradora en surcos, de la encaladora o de la voleadora, para conseguir que las semillas sembradas y el fertilizante queden ligeramente cubiertos con suelo. Esta práctica impide, además, dejar la semilla expuesta al efecto secante del sol o al alcance de algunas aves domésticas y silvestres que la consumen y de hormigas que se la llevan al hormiguero.

Propagación con material vegetativo

Debido a la disponibilidad de semilla, en el caso de las especies forrajeras introducidas, a su baja calidad natural y a su alto precio, el material vegetativo se convierte en una alternativa para el establecimiento de silvopasturas, aunque esta forma de siembra demanda una mayor cantidad de mano de obra.

- **Control de malezas en presiembra**

En la siembra vegetativa de gramíneas se puede evitar la germinación de semillas de malezas o de las gramíneas forrajeras que se quieran reemplazar.

Uno de los herbicidas que se puede usar es Trifluralina aplicado inmediatamente antes de la última rastrillada a razón de 1,5 l/ha del ingrediente activo, lo que equivale a usar 3 l/ha del producto comercial. Este es un herbicida específico para el control de gramíneas que provengan de semilla. Es también un herbicida de presiembra incorporado (se aplica por aspersión e inmediatamente después se debe incorporar al suelo aprovechando el último pase de rastra de la labranza).

Este herbicida, no afecta el rebrote del material vegetativo de las gramíneas, ni afecta la germinación de la semilla o el rebrote del material vegetativo de las leguminosas con excepción de los *Stylosanthes*, tiene un efecto residual de 30 a 60 días, dependiente de la intensidad de las lluvias caídas después de su aplicación y de que la textura del suelo favorezca o retarde su lavado o lixiviación.

- **Obtención del material vegetativo para la propagación de arbustos y árboles**

En el caso de los arbustos forrajeros y de árboles de uso múltiple embolsados para sembrar en las silvopasturas, se pueden producir en la finca o comprar en un vivero. Para la siembra y establecimiento de la silvopastura se puede utilizar la siguiente secuencia:

Una vez preparado el suelo se trazan surcos y/o se colocan cuerdas templadas con estacas en dirección al recorrido del sol (oriente a occidente) orientándose con la ayuda de una brújula, para evitar la sombra refleja posterior de sus copas sobre la cobertura inferior de la silvopastura.

Si existen árboles sobre el lote donde se va a establecer la silvopastura, se hace una selección de las especies útiles. Se deben conservar los árboles o arbustos con buen desarrollo, distribución y localización apropiadas (orientados a occidente), mayores de 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Se dejan en pie los arbustos y árboles que se distribuyan de la manera más uniforme posible: luego se podan los árboles que lo requieran y ameriten, para reducir la sombra y obtener madera, posteadura, leña o carbón y se eliminan las especies e individuos arbustivos y arbóreos en exceso, que puedan afectar el establecimiento normal, el manejo y la mejor utilización posterior de la silvopastura.

Una de las posibles opciones consiste en trazar caballones a 1,5 m de distancia entre surcos y con 20-30 cm de altura, en la misma dirección del segundo pase con el subsoador (orientados a occidente).

Para realizar el trasplante de los arbustos pregerminados, cuyas semillas fueron sembradas inicialmente en bolsas plásticas sobre el suelo ya preparado, se pueden abrir huecos sobre cada caballón de 10 cm x 10 cm de ancho y con 30 cm de profundidad, a una distancia de entre 0,60 o 0,30 m sobre el mismo surco (sembrar entre 11 110 y 22 220 arbustos por ha).

En el caso de la siembra de arbustos por semilla, sobre cada uno de los surcos o caballones, se abren huecos de 2 centímetros de profundidad con la ayuda de una barra de madera de 5 centímetros de diámetro con punta, y se depositan entre 5 a 7 semillas en cada hueco, se llena con tierra, se aprieta levemente sin formar ni dejar una hondonada para eliminar la acumulación de agua lluvia y evitar la pudrición de la semilla.

Se pueden sembrar adicionalmente semillas de maíz, sorgo o crotalaria, entre otras, como marcadores vivos de cada surco, y que a su vez permiten mecanizar, con la utilización de una surcadora o cultivadora, la limpieza de todos los surcos. Así se reducen los costos para el control de las malezas antes de sembrar las gramíneas y leguminosas herbáceas que se van a utilizar como cobertura en la silvopastura.

Para el trasplante de árboles se pueden abrir huecos, sobre cada cuarto caballón (cada 6 metros), de 20 x 20 cm de ancho y con 30 cm de profundidad a cada 10, 7, 5 o 3 metros. Se realiza el trasplante sobre el mismo surco (167; 238: 333 o 555 árboles/ha) y en tres bolillos en relación con el siguiente surco donde se trasplanten los árboles. Para el trasplante de árboles de múltiple propósito en cada hueco se introducen:

LORSBAN® al 2,5%; 7,5 gramos/planta (insecticida)

AGRIMINS®; 30 gramos/planta (fertilizante)

Hidroretenedor; 3 gramos/planta (reduce la muerte de las plantas por efecto de la sequía) (CIPAV 2010)

Luego se introduce la planta arbórea dentro de cada hueco, cuidando que la raíz quede estirada hacia el fondo sin que se doble hacia arriba. Enseguida se introduce

suelo en el hueco, se compacta para evitar una hondonada donde se acumule agua lluvia por largos períodos de tiempo e impeda que se pudran las especies arbóreas trasplantadas.

Otra opción consiste en sembrar, cada 6 m, un bloque de tres o cuatro surcos o caballones con árboles maderables, a distancias de entre 3; 6: 9 o 12 metros entre cada árbol, dentro de cada surco o caballón. Una vez se cumplan los 45 días de la siembra de los arbustos por semilla (o cuando estos tengan 30 cm de altura) y de los árboles, ya sea por trasplante o por material vegetativo, se hace la siembra de la o las gramíneas y leguminosas herbáceas de las especies seleccionadas como cobertura de la silvopastura, en medio de los surcos, de acuerdo con lo descrito en este Módulo.

Cuando la silvopastura se va a establecer con material vegetativo de gramíneas y de leguminosas, se puede producir en lotes dedicados a ese propósito, o en una pastura vigorosa recién pastoreada o cortada y en buenas condiciones sanitarias.

Dependiendo del sistema de siembra, se necesita una hectárea de semillero para 10 a 30 ha de pastura por establecer. Durante una estación de lluvias se pueden obtener, del mismo semillero, dos cortes con un intervalo de 3 a 4 meses.

El material vegetativo para la siembra debe provenir de un lote en crecimiento activo y de plantas maduras. Además, debe contener pocas hojas, para disminuir su respiración, conservarse fresco y evitar el transporte de grandes cantidades de material, ya que las hojas favorecen la deshidratación y no rebrotan. Para su obtención no es necesario destruir el semillero o la pastura, si se usa uno de los métodos siguientes:

- Cortar el material vegetativo a ras del suelo con machete o con guadaña. Este método es apropiado solamente para especies estoloníferas como *Brachiaria* spp. y *Arachis pintoii*.
- Efectuar dos pases cruzados con rastrillo sobre el semillero; así se obtiene un material de siembra con raíces (cepa), que es útil para especies estoloníferas (*B. humidicola*; *B. dyctioneura*: *B. arrecta* o *B. plantaginea*) y para especies macolladoras (*A. gayanus* *B. brizantha* y *Panicum maximum*).
- Hacer un pase de arado de discos en fajas alternas contra la pendiente del lote. El arado de discos se acondiciona dejándole solamente el último disco trasero y la rueda loca. Este método, que es útil tanto para especies estoloníferas como macolladoras, permite extraer el material de siembra con raíces y con suelo adherido (cespedón), sin destruir el semillero.

En el caso de las especies macolladoras y estoloníferas, se puede extraer con el azadón plantas grandes con su raíz (cespedón). Estos cespedones se pueden dividir en plantas pequeñas con raíces para formar cepas.

Si se tiene una baja disponibilidad de semilla sexual, esta se puede sembrar en el germinador de un vivero, y una vez que las plantas alcanzan un tamaño mediano, pueden ser trasplantadas directamente al campo.

- **Siembras con material vegetativo**

Después de la cosecha del material vegetativo, la siembra debe hacerse preferiblemente el mismo día. Si esto no es posible, la siembra solo se debe retardar por un máximo de dos a tres días, en cuyo caso el material vegetativo se debe almacenar a la sombra, esparcido sobre el suelo en una capa delgada, para evitar el aumento de la temperatura y se debe mojar diariamente con un poco de agua o se debe sumergir almacenado en sacos, dentro del agua de una quebrada o laguna para que los estolones y tallos inicien su enraizamiento.

El éxito en la propagación de las especies forrajeras por medio de material vegetativo, depende en gran parte de la humedad del suelo durante las semanas siguientes a la siembra, aunque las lluvias excesivas pueden ser perjudiciales. Cuando las lluvias son escasas, el material de siembra provisto de raíces (cepa y cespedón) ofrece mayores probabilidades de éxito en el establecimiento de pasturas.

En el caso de especies forrajeras estoloníferas, el material vegetativo se debe cubrir parcialmente con suelo y compactarlo de inmediato, con el fin de facilitar el flujo de la humedad hacia las raíces o los estolones y evitar el riesgo de muerte por deficiencia o por exceso de humedad. En las gramíneas macolladoras el material de siembra debe plantarse en forma vertical (parado), compactando bien el suelo alrededor de las raíces. La *B. brizantha* solo se establece bien si su material vegetativo posee raíces al momento de la siembra.

En la siembra con cespedón (planta entera con tallos, raíces y suelo adherido), pueden colocarse sobre cada hoyo o surco, o tirarse desde un remolque, ya que, por el peso del suelo adherido a las raíces, siempre caen bien colocados.

En la siembra asociada gramíneas-leguminosas, el material vegetativo de las primeras se puede plantar en cuadro, a 70 u 80 cm (un paso) entre plantas, e inmediatamente después se siembra la semilla de las leguminosas, bien sea al voleo o en surcos intercalados entre los surcos de las gramíneas.

Si las pasturas mejoradas de gramíneas se van a establecer puras, sin leguminosas herbáceas, el material vegetativo de las gramíneas se puede plantar a 50 o 60 cm de distancia entre plantas, con el fin de disminuir la incidencia de malezas y obtener así un establecimiento más rápido (en unos cuatro meses).

- **Siembra manual con material vegetativo**

Una vez preparado el terreno se pueden abrir hoyos a la distancia seleccionada para la siembra. En cada hoyo se coloca una cepa, cespedón o 2 a 3 estolones que se tapan

parcialmente con suelo compactándolo enseguida, pisando alrededor del material vegetativo.

Para las siembras en líneas se hacen hoyos o también surcos en el lote, a la distancia seleccionada y en contra de la pendiente o declive del lote. Posteriormente, se coloca el material de siembra distribuido de manera uniforme en el fondo de los hoyos o de los surcos y se tapa parcialmente con suelo con ayuda de una pala o azadón; enseguida se compacta el suelo mediante pisoteo, o pasando sobre cada surco un caballo, un buey o las ruedas de un tractor o de un vehículo.

- **Siembra mecanizada con material vegetativo**

Para la siembra mecanizada generalmente se requiere de mayor cantidad de material vegetativo que para la siembra manual. El material vegetativo puede regarse cubriendo el terreno de manera uniforme y puede taparse parcialmente con uno a dos pases de ras-trapa pesada y sin traba, cuyo ancho le permite pasar sin afectar los arbustos sembrados o trasplantados a 1,5 metros de distancia y los árboles trasplantados entre los surcos. Se recorre uniformemente todo el terreno con un tractor o vehículo sin implemento. Los discos del rastrillo y las llantas del tractor o del vehículo entierran parcialmente el material vegetativo y compactan el suelo.

Otro método consiste en surcar, a través de la pendiente, el lote ya preparado y distribuir en el fondo de los surcos el material vegetativo, colocándolo en forma continua o a una distancia de 60 a 80 cm (un paso), entre estolones y entre surcos. La operación se hace con la ayuda de un tractor o vehículo de carga, que pasa a lo largo y sobre los surcos, para depositar el material, al mismo tiempo que se tapa **parcialmente** y se compacta el suelo. Tapar y compactar con un madero atado a la parte posterior del vehículo por medio de dos varas laterales. El madero recoge el suelo de los bordes, lo deposita dentro del surco y lo compacta.

- **Siembra de pasturas por estolones con enraizamiento inducido**

La propagación vegetativa de gramíneas o de leguminosas forrajeras de crecimiento estolonífero como *Brachiaria* spp. y *Arachis pinto*i, es una alternativa para la siembra de especies cuya disponibilidad de semilla es baja o su precio de mercado es alto.

El *A. pinto*i puede sembrarse por material vegetativo usando las mismas técnicas ya mencionadas para gramíneas estoloníferas, pero si se presentan dos a tres días continuos de sol, después de la siembra, se corre el riesgo de fracasar. En tal caso se pueden utilizar estolones sin hojas y con tres a cuatro entrenudos (unos 20 cm de longitud). Con estos estolones se forman manojos o atados de hasta 20 tallos cada uno, que se amarran medianamente apretados con una piola, mecate o cabuya. Los manojos se introducen en un balde o recipiente plástico. A continuación se agrega agua corriente, hasta que se forme una lámina de agua no mayor de 10 cm en el fondo del recipiente. Esta lámina de agua debe mantenerse constante

por un mínimo de 8 días y un máximo de 12 días, con el fin de inducir el desarrollo de las raíces. Se debe cambiar el agua diariamente para evitar la pudrición de los estolones.

Una forma práctica, para mayor área de siembra, es llenar sacos o empaques plásticos de polipropileno con los estolones deshojados y amarrados, luego se sumergen o se dejan a flote en la orilla de un riachuelo o laguna. A la semana, los estolones estarán enraizados y listos para ser sembrados. Estos estolones permiten establecer un área grande con poco material vegetativo. Se colocan hasta dos estolones por sitio de siembra, se cubren parcialmente y de manera superficial con suelo que de inmediato se compacta. Este método reduce sensiblemente el riesgo de fracaso en el establecimiento, aunque después de la siembra no haya lluvia.

Sistemas de siembra sobre terrenos con labranza cero

Para áreas pequeñas (menos de cinco ha), la siembra con semilla y fertilización simultánea se puede hacer, manualmente, con el chuzo de tubo (Botero y García 1989). En áreas grandes, se puede mecanizar con sembradoras de granos, que poseen discos que surcan y remueven el suelo únicamente sobre el sitio de colocación de la semilla y del fertilizante, uniformemente repartidos sobre el terreno. La siembra con material vegetativo se pueden realizar manualmente con machete, azadón o pala para hacer los huecos (a un paso en cuadro), donde se colocan dos a tres estolones o una cepa por sitio. Luego se cubren parcialmente con suelo y se compacta pisando a su alrededor.

También se puede utilizar una horqueta de lámina metálica plana o ángulo aplanado de 5 a 8 mm de espesor, con dos puntas de 5 cm de longitud cada una y cuyos bordes internos son romos (sin filo), encabada en uno de los extremos en un tubo de aluminio de 3/4 de pulgada de diámetro y un metro de longitud. Esta sencilla herramienta manual permite enterrar dos a tres estolones por sitio de siembra, y permite aplicar simultáneamente el fertilizante sobre el sitio de siembra, a través de un embudo plástico insertado en su extremo superior. En tal caso no es necesario compactar el suelo alrededor de los estolones plantados.

Para áreas grandes de terreno preparado con labranza cero, puede ser cubierto uniformemente con material vegetativo, que de inmediato se incorpora al suelo, mediante dos pases cruzados de rastra o rastrillo pesado sin traba. También, el terreno puede ser surcado para colocar los estolones o cepas dentro de los surcos, proceder a depositar el fertilizante a lo largo de los surcos, tapar parcialmente el material vegetativo y luego compactar el suelo. En este sistema se pueden utilizar métodos manuales o mecanizados sencillos.

Siembra de gramíneas mezcladas para la utilización más temprana de la pastura

En la siembra de pasturas de *Brachiaria humidicola* y *B. dictyoneura*, que tienen un lento establecimiento por su sensibilidad a la baja luminosidad, (debido a la alta nubosidad durante el período más lluvioso), y su producción de hojas se retarda hasta que sus estolones

se desarrollan y cubren el suelo; se presenta la opción de mezclarlas con *B. decumbens* o *B. brizantha*, cuyo establecimiento, por ser macollado, es más rápido y permiten pronto el pastoreo.

Igualmente se pueden sembrar mezcladas las especies *B. decumbens* y *B. brizantha*. En este caso se logra disminuir la incidencia del mión, salivazo o salivita, plaga a la que el *B. decumbens* es susceptible, pero los cultivares comerciales de *B. brizantha* son resistentes. Se puede además reducir la incidencia de la intoxicación causada por el *B. decumbens*. Las pasturas de *A. gayanus*, especie macolladora, pueden sembrarse mezcladas con braquiarias, cubrirán los espacios entre las macollas del *Andropogon* lo que reduce la incidencia de malezas y la erosión. Así se logra una mayor producción de forraje y se posibilita una mayor carga y producción animal por unidad de área.

Resiembra

Cuando sea necesaria la resiembra, se puede hacer un mes después de la siembra, cuando deben haber germinado la mayoría de las semillas sembradas. Se hace en forma manual, esparciendo sobre las áreas menos pobladas la **semilla reservada previamente** o reemplazando el material vegetativo que no haya rebrotado.

Fertilización

Las especies introducidas responden a la fertilización, práctica que es indispensable para alcanzar una persistencia productiva estable de las pasturas mejoradas. Se recomienda aplicar fertilizantes durante el establecimiento. Para el mantenimiento, al menos cada tres a cinco años, se debe realizar un análisis foliar para definir los minerales deficitarios (Botero 2012a).

• Fertilizaciones de siembra y de establecimiento

Los suelos de las sabanas y selvas de Centroamérica son en su gran mayoría oxisoles y ultisoles, es decir ácidos (pH 3,8 a 5,5), poseen alta saturación de aluminio (> 60%), niveles tóxicos de manganeso (> 50%), presentan alta fijación de fósforo y deficiencias severas de N, P, K, Ca, Mg y S, y de algunos microelementos (Sánchez e Isbell 1979).

Si se tiene en cuenta que el fósforo es en general el nutrimento más limitante durante la fase de establecimiento de pasturas en las sabanas y en las selvas en Centroamérica, y los altos precios de los fertilizantes y el transporte, resulta más económico utilizar roca fosfórica cuyo contenido de fósforo (P) es del 10%, en vez de escorias Thomas cuyo contenido actual de fósforo es del 4% (Cuadro 4.1).

Se ha determinado que la fertilización, al momento de la siembra, puede limitarse a la aplicación de 300 kg/ha de roca fosfórica o de 750 kg/ha de escorias Thomas, lo cual equivale a la aplicación de 30 kg/ha de fósforo.

Si la siembra se realiza con sembradora o encaladora a surcos, la cantidad de fertilizante fosfórico se puede reducir a la mitad, esto es, a 15 kg/ha de fósforo, debido a su aplicación localizada sobre el surco de siembra.

Cuadro A4.1 Contenido de macronutrientes en fertilizantes comerciales en América tropical

Fertilizante	Contenido* %					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Urea	46					
Sulfato de amonio	20					
Fosfato de amonio - MAP	12	22				
Fosfato diamónico - DAP	18	20				
Nitrato de amonio	23					
Superfosfato triple		20		14		
Superfosfato simple		7		20		12
Escorias Thomas - CALFOS		4		37	1	
Rocas fosfóricas		10		20-30		
Fosfato de magnesio		15			8	
Cloruro de potasio			50			
Sulfato de potasio			42			18
Sulfato de potasio y magnesio			18		11	22
Sulfato de calcio y magnesio				23	10	31
Sulfato de magnesio					10	13
Óxido de magnesio					32	
Yeso comercial				14-17		10-13
Cal dolomítica				25-30	7-12	
Cal agrícola				30		
Flor de azufre						85
Abonos orgánicos (base seca)						
Bovinaza	1-3	0,2-1	1-2	1-3	0,5-1	
Cerdaza	2-5	1-3	1-2	1-4	0,3-0,6	
Gallinaza	3-5	2-3	2-3	5-10	0,4-1	

* Todos los macronutrientes, incluyendo P y K, están en forma elemental; para convertir a P₂O₅ multiplicar P por 2,29; para convertir a K₂O multiplicar K por 1,20.

Fuente: adaptado de Botero, 2012a.

Al momento de la siembra no se deben mezclar las semillas con fertilizantes nitrogenados o potásicos, pueden quemar la plántula una vez que germina la semilla. No se recomienda mezclar la semilla con cascarilla de arroz, para darle volumen, normalmente contiene semi-

llas de malezas y atrae a las aves domésticas y silvestres. Cuando la semilla se mezcla con roca fosfórica o con escorias Thomas, a las dosis recomendadas, estos fertilizantes dan el volumen necesario y la consistencia apropiada para realizar una siembra uniforme.

Cuando se aplica con voleadora la roca fosfórica y las escorias Thomas mezcladas con la semilla, se puede evitar el polvo si se agrega agua a razón del 5% del peso de la mezcla (revolver simultáneamente con una pala). Si el fertilizante tiene mezclada la semilla que se va a sembrar, solo se debe agregar agua a la mezcla para sembrar el mismo día.

Un año después de la siembra (al inicio de las lluvias), cuando la pastura mejorada ya se encuentra establecida y las plantas forrajeras poseen abundantes raíces, se debe aplicar, en distribución uniforme, la fertilización de establecimiento, la cual dependerá de los contenidos minerales en el análisis foliar de la pastura.

- **Fertilización de mantenimiento y renovación de pasturas**

La fertilización de mantenimiento debe hacerse simultáneamente, aplicando los macro y microelementos minerales que aparezcan como deficientes o críticos en los análisis foliares que se realicen. Esto permite racionalizar el uso de fuentes y dosis de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que puedan aplicarse mezclados o independientes.

Estas prácticas de fertilización de mantenimiento y un descanso de entre 60 a 90 días, todas realizadas al inicio del período de lluvias, se denominan en conjunto renovación de pasturas y se pueden hacer con la abonadora acoplada al tractor, para evitar el lavado del fertilizante. Si se maneja apropiadamente, así se logra que una silvopastura mejorada de gramínea asociada con leguminosas herbáceas y con especies arbustivas y arbóreas multipropósito sea productiva en forma estable.

Establecimiento de silvopasturas con cultivos

Los sistemas de producción de cultivos permiten una utilización más eficiente y sostenible de los recursos con el establecimiento de sistemas silvopastoriles basados en germoplasma de cultivos adaptados o desarrollados para estos suelos de sabanas y bosque. Entre las principales ventajas de estos sistemas de establecimiento sobresalen: a) un mejor control de la erosión y de las malezas; b) un mejor aprovechamiento de la labranza y de la mano de obra; y c) un mayor beneficio de la fertilización residual del cultivo para el establecimiento simultáneo o la renovación de un sistema silvopastoril.

Para reducir los costos de establecimiento de los SSP, se pueden asociar con un cultivo temporal adaptado al medio como sembrar cultivos de arroz de secano, sorgo, soya, maíz, caupí, ajonjolí, maní, canavalia, sandía o patilla, ahuyama, ayote o zapayo, chiverre o vitoria, entre otros. Estos granos o frutos se producen y cosechan durante la fase de establecimiento del sistema silvopastoril, lo que además permite la cosecha de material vegetal de la pastura, que puede manipularse para la producción de heno, henolaje o ensilarse y la cosecha de semilla de las

especies forrajeras que conforman la pastura mejorada. Este tipo de asociación se justifica económicamente siempre que se tenga disponible la maquinaria y la mano de obra para las labores adicionales del cultivo, y que la distancia, el estado de vías hasta el mercado y el precio obtenido por el producto, permitan cubrir los costos de su fertilización, manejo, cosecha y transporte.

Introducción de leguminosas herbáceas en silvopasturas establecidas

En el caso de *Stylosanthes*, *Centrosema* y *Pueraria*, las siembras se hacen con semilla, pero el *Arachis pintoi* puede introducirse también con material vegetativo, empleando cualquiera de los métodos ya mencionados. En todos los casos es indispensable fertilizar oportunamente y pastorear suavemente, máximo dos meses después de la siembra, para reducir la competencia de las gramíneas sobre las leguminosas introducidas.

Uso de leguminosas como cobertura en cultivos

En cultivos perennes como palma africana, marañón, cítricos, mango, guanábana, árboles maderables, o de duración media como plátano y papaya se pueden utilizar, como cobertura, leguminosas rastreras que permiten un control cultural de malezas, fijan nitrógeno que es utilizable para el cultivo asociado, reciclan nutrientes minerales, aumentan en el mediano plazo el contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo, lo protegen de la radiación solar, de la erosión y de la desecación durante la sequía, actúan como refugio de la población de insectos benéficos para el control biológico de plagas, reducen la lixiviación de minerales que causa su pérdida como nutrientes y la contaminación que ocasionan a las fuentes de agua subterránea.

Las leguminosas rastreras no requieren plateo o rodaje y producen semilla y material vegetativo que pueden usarse para su propagación, o en pastoreo o corte para la alimentación de especies menores (ovinos, caprinos, aves, cerdos), o se pueden conservar como heno, heno-laje o como ensilaje de alta calidad para épocas de sequía. Entre las leguminosas rastreras y no trepadoras utilizadas comercialmente se destacan *Stylosanthes guianensis*; *S. capitata* y *Arachis pintoi* por su adaptación, rápido establecimiento, resistencia a enfermedades y plagas, alta calidad forrajera y alto potencial de producción de semilla.

Manejo de sistemas silvopastoriles durante la fase de establecimiento

• Control de hormigas en las pasturas

Uno de los mayores problemas que se presenta durante el establecimiento de silvopasturas es el ataque de hormigas que se llevan las semillas y cortan las plántulas recién germinadas. El control de las hormigas preferentemente se debe realizar en forma localizada con cebos tóxicos. Los hormigueros tratados se deben identificar con estacas pintadas de colores visibles, con el fin de revisarlos periódicamente para comprobar la efectividad del control. Las hormigas que hacen daño a los sistemas silvopastoriles son de tres tipos:

1. **Arriera** (*Atta laevigata*): cortan tanto las gramíneas como las leguminosas y hojas de arbustos y árboles. Se caracterizan porque construyen el hormiguero únicamente en

lotes abiertos. Estos nidos tienen forma de colinas múltiples formadas con el suelo que extraen de las capas más profundas, lo colocan sobre la superficie con senderos hacia las entradas. Su hábito de corte es principalmente nocturno.

2. **Hormiga de monte** (*Atta cephalotes*): hormiga de cabeza grande que tiene hábito nocturno, corta tanto gramíneas como leguminosas y hojas de arbustos y de árboles. Sus hormigueros son similares a los de la hormiga arriera, pero siempre están localizados en las orillas o dentro de los bosques de galería.
 3. **Torre de paja** (*Acromyrmex landolti*): hormiga de hábito nocturno que corta únicamente gramíneas, con preferencia *Andropogon gayanus*, por lo que pueden destruir las pasturas de esta especie forrajera. Los hormigueros los construyen con entradas tubulares que sobresalen de la superficie del suelo a manera de torres, formadas por raíces y tallos secos pequeños. Se encuentran siempre en lotes abiertos y son difíciles de localizar. Las hormigas de esta especie no hacen senderos fijos y esparcen el suelo en un círculo amplio alrededor de la entrada del hormiguero.
- **Control de malezas gramíneas (hoja angosta)**

El establecimiento, el manejo y la utilización racional de las silvopasturas actúan como control cultural de malezas para que su incidencia sea permanentemente baja. Durante las fases de establecimiento, mantenimiento y renovación de silvopasturas mejoradas, ha resultado exitosa la aplicación de herbicidas de contacto a base de paraquat para el control de algunas malezas gramíneas nativas e introducidas.

Estos herbicidas químicos deberán ser aplicados antes de dejar semillar las malezas gramíneas y por aspersión localizada o uniforme con dosis de 200 g/ha del ingrediente activo, equivalente a la aplicación de 1 L/ha del producto comercial, disuelto en 400 litros de agua por hectárea (50 cc del producto comercial por bomba de aspersión de 20 litros). La pastura queda en parches o totalmente seca al inicio y luego únicamente rebrotan vigorosamente las gramíneas mejoradas y las leguminosas nativas e introducidas ya existentes o sembradas (Botero y Fernández 1990).

Las malezas gramíneas también se pueden controlar en forma localizada con glifosato disuelto en agua limpia entre el 2 al 20% y aplicado con el azadón químico (Botero 1993), o bien con una dosis de 720 g/ha del ingrediente activo aplicado por aspersión localizada disuelto en 200 L de agua por hectárea. Las gramíneas arvenses más comunes son *Andropogon bicornis*, *Imperata cylindrica*, *Paspalum fasciculatum* y *Paspalum virgatum*.

- **Control de malezas de hoja ancha y cyperáceas**

Se puede recurrir a la aplicación racional de herbicidas comerciales que no destruyen las gramíneas ni las leguminosas nativas e introducidas en casos de sobrepastoreo, retardo en la fertilización de mantenimiento, ataque severo de plagas, quemadas frecuentes e inoportunas y mal drenaje o cuando la incidencia de malezas de hoja ancha y de ciperáceas se incrementa sensiblemente.

Se pueden utilizar herbicidas comerciales con base única de 2-4D amina, los cuales no destruyen las leguminosas nativas ni algunas introducidas como el *Arachis pintoi* y *Stylosanthes capitata* CIAT 10280. Se aplican por aspersión localizada o uniforme a la dosis de 1,4 kg/ha de ingrediente activo, disueltos en 200 a 400 litros de agua por hectárea.

Para el control de malezas de hoja ancha y cyperáceas en pasturas asociadas con leguminosas introducidas como el *Pueraria* y el *Centrosema*, que no toleran el 2-4D amina, se pueden utilizar herbicidas a base de bentazón aplicados por aspersión localizada o uniforme a la dosis de 1 L/ha del ingrediente activo, disuelto en 200 a 400 litros de agua por hectárea. Ambos herbicidas selectivos no afectan a la maleza leguminosa *Mimosa pudica*, o Zarza espinosa, por lo que su control debe hacerse localizado con el azadón químico o por aspersión localizada con otros herbicidas no selectivos.

En el caso de que se presenten coberturas con diversas especies de malezas se puede utilizar un herbicida no selectivo asperjando sobre el surco, protegiendo las plantas aleatorias que no se quieren destruir. Con la ayuda de cuatro personas, dos en cada surco, toman una tabla de madera comprimida y van avanzando con ella en la medida en que el aplicador avanza con la aspersión sobre cada surco.

- **Manejo del pastoreo**

El primer pastoreo se puede hacer entre seis a ocho meses después de la siembra, usando una carga animal alta, pero durante corto tiempo. Se recomienda hacer los pastoreos iniciales después de que las especies forrajeras de cobertura e introducidas hayan dado flores y su semilla haya madurado y caído al suelo.

Una vez establecida la silvopastura, se debe utilizar en forma tal que, al menos cada tres a cinco años se le permita producir semillas para garantizar la persistencia productiva estable de las especies establecidas. Esto implica un descanso durante la época de lluvias respectiva. La producción y cosecha parcial de semillas de gramíneas y de leguminosas, también se puede hacer aprovechando los periodos de establecimiento y de renovación de la pastura.

Las quemas accidentales se deben prevenir por medio de rondas o contrafuegos, ya que estas pueden inutilizar la pastura por periodos largos, o comprometer la persistencia de las especies mejoradas herbáceas, arbustivas y/o arbóreas de múltiple propósito por su exposición a quemas frecuentes o inoportunas.

- **El mión o salivazo (*Aneolamia varia*, *Zulia pubescens*, *Prosapia simulans*, *Mahanarva* sp.) en sistemas silvopastoriles con *Brachiaria* spp.**

Varias especies de insectos conocidas como mión, salivita, salivazo, candelilla, mosca pinta, baba de culebra, entre otras, atacan algunas de las braquiarias recomendadas para las sabanas y selvas de Mesoamérica. La ninfa se alimenta con la savia de las raíces

superficiales a nivel del suelo o de la base de los tallos. El daño aparece en forma de parches de color amarillo o como quemazón de las hojas. Los adultos del insecto succionan la savia de las hojas e inyectan su saliva a la planta, la cual contiene toxinas que causan necrosis de tallos y hojas.

Entre las especies comerciales de *Brachiaria*, *B. decumbens* es susceptible al ataque y daño causado por el salivazo, *B. humidicola* y *B. dictyoneura* cv. Llanero o Brunca son tolerantes, ya que a la misma densidad de infestación de mión, sufren menor daño comparados con *B. decumbens*. Sin embargo, las especies tolerantes pueden sufrir daño severo cuando las poblaciones del insecto son demasiado altas. Los cultivares comerciales Marandú, La Libertad y Toledo de la especie *B. brizantha*, poseen resistencia por antibiosis, ya que afectan el ciclo biológico del insecto.

El desarrollo del insecto y su daño se favorecen cuando en la pastura se forma un colchón de hojas y tallos secos acumulados durante la época seca, el cual retiene la humedad en la época de lluvias. Esta situación también ocurre cuando la gramínea crece hasta una altura que impide la entrada de los rayos solares. Durante la época de lluvias la humedad constante favorece las altas poblaciones del insecto y el daño que causan.

El manejo contra el daño causado por el mión debe ser preventivo, por lo tanto, se debe evitar la formación del colchón de hojas y tallos secos. Esto se consigue pastoreando la pastura durante la época seca, aunque soporta una carga animal menor. Igualmente, las pasturas de braquiarias se deben pastorear durante la época de lluvias, con una carga que no permita el crecimiento excesivo de las plantas. Sin embargo, el sobrepastoreo intenso, que se utiliza como último recurso para el control del mión causa mucho daño a las braquiarias, ya que disminuye sensiblemente la población de plantas, cuando no hay suficiente reserva de semilla en el suelo, y estimula de ese modo la invasión de malezas y la compactación del suelo.

El control mecánico que se puede utilizar durante la época de lluvias, consiste en hacer uno o dos pases cruzados de rastra pesada con el fin de exponer los insectos inmaduros (ninfas) al efecto secante de los rayos solares. Esta práctica serviría, además, como medio para renovar, resembrar o introducir leguminosas a la pastura, airear el suelo, disminuir su compactación superficial e incorporar al suelo el colchón de hojas y tallos secos y la materia orgánica de las excretas animales.

El corte bajo, con segadora de peine en áreas de topografía plana o el corte con guadaña en áreas planas u onduladas y sin piedras superficiales en ambos tipos de topografía, es realizado para controlar malezas, para obtener un rebrote uniforme del forraje para pastoreo o para lograr un espigamiento uniforme, en casos de cosecha de semilla. Estas medidas son útiles para aumentar la producción y facilitar la cosecha de semilla, pero aportan material seco que incrementa el espesor del colchón superficial. Este puede estimular la incidencia y ataque del mión. La utilización de insecticidas no parece conve-

niente, debido al alto costo de estos productos, a la posible contaminación de las aguas, a su toxicidad en animales y humanos y a la destrucción de los insectos benéficos que ejercen el control biológico.

- **Intoxicación por consumo de *Brachiaria decumbens***

Se han observado casos de intoxicación con *B. decumbens* en bovinos y ovinos jóvenes, principalmente en animales desde el nacimiento hasta los tres años de edad. Se pueden presentar uno o varios de los síntomas, pero todos ellos están asociados con degeneración hepática. Los síntomas observados son:

1. Secamiento y caída de trozos de piel (fotosensibilización).
2. Edema frío o hinchazón de la papada, orejas y cara.
3. Pérdida gradual de peso.

La intoxicación se atribuye al consumo continuo de una toxina producida por el hongo *Phitiomyces chartarum*, el cual crece generalmente sobre *B. decumbens*. Sin embargo, el consumo de algunas malezas de hoja ancha como *Lantana camara* también puede producir fotosensibilización. Para tratar la intoxicación con *B. decumbens* se sugiere llevar temporalmente el animal afectado hacia un sistema agroforestal con una gramínea diferente, y administrarle antihistamínicos y protectores hepáticos. Raras veces es necesario retirarlo definitivamente del sistema con *B. decumbens*. Cuando se presenta fotosensibilización es conveniente mantener al animal en un sitio sombreado (silvopastura), y aplicarle antisépticos y repelentes de insectos sobre las partes erosionadas de la piel. Para prevenir intoxicación en rumiantes, y ya que los equinos no consumen el *B. decumbens*, se debe diversificar, sembrando también pasturas mejoradas de otras especies.

Anexo 5

Cuadro A5.1. Principales gramíneas y leguminosas herbáceas perennes, nativas e introducidas, adaptadas para utilizarlas como cobertura, bajo pastoreo y/o bajo corte, acarreo o conservación en sistemas silvopastoriles tropicales en Mesoamérica

Gramíneas adaptadas a pisos térmicos cálidos y medios (0 a 1 800 msnm)			
Suelos bien drenados	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Andropogon gayanus</i>	Introducida	Andropogon o Carimagua	Media a baja
<i>Axonopus compressus</i>	Nativa	Alfombra	Baja a media
<i>Axonopus micay</i>	Nativa	Micay	Media
<i>Axonopus purpussi</i>	Nativa	Guaratara	Media
<i>Axonopus scoparius</i>	Nativa	Imperial	Media
<i>Bothriochloa pertusa</i>	Nativa	Kikuyina	Baja
<i>Bracharia brizantha</i>	Introducida	Marandú, Toledo	Media a alta
<i>Bracharia decumbens</i>	Introducida	Braquiaria amarga o Señal	Media a baja
<i>Bracharia dyctioneura</i>	Introducida	Ganadero, Llanero o Brunca	Media a baja
<i>Bracharia humidicola</i>	Introducida	Braquiaria dulce o Kikuyo Amazónico	Media a baja
<i>Bracharia ruzizensis</i>	Introducida	Ruzi o Congo	Media a alta
<i>Bracharia spp. Híbridos</i>	Mejoradas	Mulatos 1 y 2	Media a alta
<i>Cynodon dactylon</i>	Introducida	Bermuda, Alicia, Argentina	Salino
<i>Cynodon dactylon</i>	Introducida	Bermuda cruzada	Alta
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	Introducida	Estrella africana	Media a alta
<i>Cynodon plectostachyus</i>	Introducida	Estrella africana	Media a alta
<i>Dichanthium annulatum</i>	Introducida	Climacuna	Media a baja
<i>Dichanthium aristatum</i>	Introducida	Ángleton	Media a alta
<i>Digitaria decumbens</i>	Introducida	Pangola	Media a alta
<i>Digitaria suazilandensis</i>	Introducida	Suazi	Media a alta
<i>Digitaria transvala</i>	Introducida	Transvala	Media a alta
<i>Hemarthria altissima</i>	Introducida	Limpo grass, Clavel o Rojo	Media a alta
<i>Hyparrhenia rufa</i>	Introducida	Puntero, Uribe o Faragua	Baja a media
<i>Ischaemum indicum</i>	Naturalizada	Ratana o Retana	Baja a media
<i>Ixophorus unisetus</i>	Nativa	Honduras o Hatico	Media
<i>Melinis minutiflora</i>	Introducida	Gordura o Yaragúa peludo	Baja a media
<i>Panicum maximum</i>	Introducida	Guinea, Saboya, Mombaza y Tanzania	Media a alta
<i>Paspalum conjugatum</i>	Nativa	Grama, Carabao u Horqueta	Baja a media
<i>Paspalum notatum</i>	Nativa	Grama, Trensa o Jenjibrillo	Baja a media
<i>Pennisetum purpureum</i>	Introducida	Elefante, Napier o Gigante	Media a alta
<i>Saccharum officinarum</i>	Introducida	Caña de azúcar	Media a alta
<i>Setaria sphacelata</i>	Introducida	Setaria o San Juan (var. splendida)	Media a alta
<i>Sorghum bicolor</i>	Introducida	Sorgo forrajero	Alta a baja
<i>Sorghum alnum</i>	Introducida	Sorgo negro	Media a alta
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Introducida	San Agustín	Media a alta
<i>Tripsacum laxum</i>	Nativa	Pasto Guatemala o Prodigio	Baja a media

Gramíneas adaptadas a pisos térmicos cálidos y medios (0 a 1 800 msnm) suelos bien drenados

Nombre botánico de las gramíneas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Axonopus compressus</i>	Nativa	Alfombra	Media a baja
<i>Axonopus micay</i>	Nativa	Micay	Media
<i>Axonopus purpureus</i>	Nativa	Guaratara	Media
<i>Axonopus scoparius</i>	Nativa	Imperial	Media
<i>Bothriochloa pertusa</i>	Nativa	Kikuyina	Baja
<i>Ixophorus unisetus</i>	Nativa	Honduras o Hatico	Media
<i>Paspalum notatum</i>	Nativa	Gramma, Trenza o Jenjibrillo	Media a baja
<i>Paspalum conjugatum</i>	Nativa	Gramma, Carabao u Horqueta	Media a baja
<i>Tripsacum laxum</i>	Nativa	Pasto Guatemala o Prodigio	Media a baja
<i>Ischaemum timorense</i>	Naturalizada	Ratana o Retana	Media a baja
<i>Andropogon gayanus</i>	Introducida	Andropogon o Carimagua	Media a baja
<i>Brachiaria decumbens</i>	Introducida	Braquiaria amarga o Señal	Media a baja
<i>Brachiaria humidicola</i>	Introducida	Braquiaria dulce o Kikuyo amazónico	Media a baja
<i>Brachiaria dactyloides</i>	Introducida	Ganadero, Llanero o Brunca	Media a baja
<i>Brachiaria brizantha</i>	Introducida	Marandú, Toledo	Media a alta
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	Introducida	Ruzi o Congo	Media a alta
<i>Cynodon dactylon</i>	Introducida	Estrella africana (Espiga morada)	Media a alta
<i>Cynodon plectostachyus</i>	Introducida	Estrella africana (Espiga blanca)	Media a alta
<i>Cynodon dactylon</i>	Introducida	Bermuda, Alicia, Argentina	Media a alta
<i>Cynodon dactylon</i>	Introducida	Bermuda cruzada	Alta
<i>Dichanthium aristatum</i>	Introducida	Ángleton	Media a alta
<i>Dichanthium annulatum</i>	Introducida	Climacuna	Media a baja
<i>Digitaria decumbens</i>	Introducida	Pangola	Media a alta
<i>Digitaria transvala</i>	Introducida	Transvala	Media a alta
<i>Digitaria suazilandensis</i>	Introducida	Suazi	Media a alta
<i>Hemarthra altissima</i>	Introducida	Limpo grass, Clavel o Rojo	Media a alta
<i>Hyparrhenia rufa</i>	Introducida	Puntero, Uribe o Faragua	Media a baja
<i>Melinis minutiflora</i>	Introducida	Gordura o Yarágüa peludo	Media a baja
<i>Panicum maximum</i>	Introducida	Guinea, Saboya, Mombaza, Tanzania	Media a alta
<i>Pennisetum purpureum</i>	Introducida	Elefante, Napier o Gigante	Media a alta
<i>Saccharum officinarum</i>	Introducida	Caña de azúcar	Media a alta
<i>Setaria sphacelata</i>	Introducida	(var. <i>splendida</i>) Setaria o San Juan	Media a alta
<i>Sorghum bicolor</i>	Introducida	Sorgo forrajero	Alta a baja
<i>Sorghum aluum</i>	Introducida	Sorgo negro	Media a alta
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Introducida	San Agustín	Media a alta
<i>Brachiaria</i> spp. Híbridos	Mejoradas	Mulatos 1 y 2	Media a alta

Gramíneas adaptadas a pisos térmicos fríos (1 800 a 3 000 msnm) suelos bien drenados

Nombre botánico de las gramíneas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Avena sativa</i>	Introducida	Avena forrajera	Media a alta
<i>Bromus catharticus</i>	Introducida	Bromus o Bromo	Media a alta
<i>Dactylis glomerata</i>	Introducida	Pasto azul orchoro	Media a alta
<i>Festuca arundinacea</i>	Introducida	Festuca	Media a alta
<i>Holcus lanatus</i>	Introducida	Capín lanudo	Media a alta
<i>Lolium spp.</i>	Introducida	Ryegrass	Alta
<i>Panicum milliaceum</i>	Introducida	Millo forrajero	Media a alta
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Naturalizada	Kikuyo	Media a alta
<i>Phalaris sp.</i>	Introducida	Brasilera	Media a alta
<i>Phleum pratense</i>	Introducida	Fleo pratense	Media a alta
<i>Poa pratensis</i>	Introducida	Poa	Media a alta
<i>Setaria sphacelata</i>	Introducida	(var. <i>anceps</i>) Kasungula; San Juan	Media a alta
<i>Sorghum sudanense</i>	Introducida	Sudán	Media a alta
<i>Brachiaria dictioneura</i>	Introducida	Ganadero, Llanero o Brunca	Media a baja
<i>Brachiaria brizantha</i>	Introducida	Marandú, Toledo	Media a alta

Gramíneas adaptadas a pisos térmicos fríos (1 800 a 3 000 msnm) suelos bien drenados

Nombre botánico de las gramíneas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Kikuyuocloa clandestina</i>	Naturalizada	Kikuyo	Media a alta
<i>Avena sativa</i>	Introducida	Avena forrajera	Media a alta
<i>Bromus catharticus</i>	Introducida	Bromus o Bromo	Media a alta
<i>Dactylis glomerata</i>	Introducida	Pasto azul orchoro	Media a alta
<i>Festuca arundinacea</i>	Introducida	Festuca	Media a alta
<i>Holcus lanatus</i>	Introducida	Holco	Media a alta
<i>Lolium spp.</i>	Introducida	Ryegrass	Alta
<i>Panicum milliaceum</i>	Introducida	Millo forrajero	Media a alta
<i>Phalaris sp.</i>	Introducida	Brasilera	Media a alta
<i>Phleum pratense</i>	Introducida	Fleo pratense	Media a alta
<i>Poa pratensis</i>	Introducida	Poa	Media a alta
<i>Setaria sphacelata</i>	Introducida	(var. <i>anceps</i>) Kasungula	Media a alta
<i>Sorghum sudanense</i>	Introducida	Sudán	Media a alta
<i>Brachiaria dictioneura</i>	Introducida	Ganadero, Llanero o Brunca	Media a baja
<i>Brachiaria brizantha</i>	Introducida	Marandú, Toledo	Media a alta

Gramíneas adaptadas a pisos térmicos cálidos y medios (0 a 1800 msnm) suelos mal drenados

Nombre botánico de las gramíneas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Brachiaria arrecta o radicans</i>	Introducida	Tanner	Media a alta
<i>Brachiaria humidicola</i>	Introducida	Braquiaria dulce o Kikuyo Amazónico	Media a baja
<i>Brachiaria mutica</i>	Introducida	Pará o Admirable	Media a alta
<i>Brachiaria plantaginea</i>	Nativa	Braquipará o Urare	Media a alta
<i>Echinochloa polystachya</i>	Nativa	(var. spectabilis) Alemán nativo	Media a alta
<i>Echinochloa pyramidalis</i>	Nativa	Canarana, Venezuela o Gacela	Media a alta
<i>Eriochloa polystachya</i>	Introducida	Janeiro o Caribe	Media a alta
<i>Hemarthra altissima</i>	Introducida	Limpograss, Clavel o Rojo	Media a alta
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	Nativa	Paja de agua	Media a baja
<i>Leersia hexandra</i>	Nativa	Lambedora	Media a baja
<i>Panicum laxum</i>	Nativa	Jajato	Media a baja
<i>Panicum versicolor</i>	Nativa	Pasto blanco	Media a baja
<i>Paspalum atratum</i>	Nativa	Pojuca	Media a baja
<i>Paspalum fasciculatum</i>	Nativa	Gramalote o Paja chigüirera	Media a baja
<i>Paspalum plicatulum</i>	Nativa	Gamelotillo o Pasto negro	Media a baja
<i>Urochloa mosambicensis</i>	Introducida	Dandy o Daly	Media a alta

Leguminosas herbáceas adaptadas a pisos térmicos cálidos y medios (0 a 1 800 msnm) suelos bien drenados

Nombre botánico de las leguminosas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Alysicarpus vaginalis</i>	Nativa	Trébol de sabana o Alicia	Media a baja
<i>Arachis pintoi</i>	Nativa	Maní forrajero perenne o Manicillo	Alta a baja
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Nativa	Frijolillo o Bejuco de chivo	Media a baja
<i>Canavalia</i> spp.	Nativa	Frijol de puerco, Jack bean o Canavalia	Media a baja
<i>Centrosema</i> spp.	Nativa	Centro	Media a baja
<i>Chamaecrista nictitans</i>	Nativa	Chamaecrista	Media a baja
<i>Clitoria ternatea</i>	Introducida	Clitoria o campanita azul	Media a alta
<i>Desmanthus virgatus</i>	Nativa	Dormidera	Media a alta
<i>Desmodium</i> spp.	Nativa	Amor seco o Empanadita	Media a baja
<i>Galactia striata</i>	Nativa	Galactia	Media a baja
<i>Macroptilium</i> spp.	Nativa	Bejuquillo o Siratro	Media a baja
<i>Macrotyloma axillare</i>	Introducida	Macrotiloma	Media a alta
<i>Neonotonia wigtii</i>	Nativa	Soya perenne o Soya forrajera	Media a alta
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Introducida	Kudzú tropical	Media a alta
<i>Stylosanthes</i> spp.	Nativa	Stylo o Alfalfa tropical	Media a baja
<i>Teramnus labialis</i>	Nativa	Teramnus	Media a baja
<i>Zornia</i> spp.	Nativa	Esterilla, Trecilla o Cargadita	Media a baja

Leguminosas herbáceas adaptadas a pisos térmicos cálidos y medios (0 a 1 800 msnm)
suelos mal drenados

Nombre botánico de las leguminosas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Aeschynomene</i> spp.	Nativa	Clavellina	Media a baja
<i>Sesbania</i> spp.	Nativa	Sesbania	Media a baja

Leguminosas herbáceas adaptadas a pisos térmicos fríos (1 800 a 3 000 msnm)
suelos bien drenados

Nombre botánico de las leguminosas	Origen	Nombres más comunes	Demanda de fertilidad del suelo
<i>Lotononis bainesii</i>	Introducida	Lotononis	Alta
<i>Lotus uliginosus</i>	Introducida	Lotus, Zapatico de la virgen	Alta
<i>Medicago sativa</i>	Introducida	Alfalfa	Alta
<i>Trifolium pratense</i>	Introducida	Trébol rojo	Alta
<i>Trifolium repens</i>	Introducida	Trébol blanco	Alta
<i>Trifolium subterraneum</i>	Introducida	Trébol subterráneo	Alta

Cuadro A5.2. Principales arbustos y árboles fijadores de nitrógeno (AFN) y sus usos actuales y potenciales en sistemas de producción agropecuaria en suelos ácidos tropicales de Mesoamérica

Gramíneas adaptadas a pisos térmicos cálidos y medios (0 a 1 800 msnm)			
Especies de AFN	Silvopasturas	Cercas vivas	Bancos forrajeros
<i>Acacia aneura</i>	X		
<i>Acacia farnesiana</i>	X	X	X
<i>Acacia mangium</i>	X	X	
<i>Aeschynomene</i> spp.			X
<i>Albizia lebbek</i>	X	X	
<i>Albizia saman</i>	X	X	
<i>Albizia guachapele</i>	X	X	
<i>Alnus acuminata</i>	X		
<i>Cajanus cajan</i>			X
<i>Calliandra arborea</i>	X		
<i>Calliandra calothyrsus</i>		X	X
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	X	X	
<i>Clitoria fairchildiana</i>	X	X	X
<i>Codariocalyx gyroides</i>			X
<i>Cratylia argentea</i>			X
<i>Dalbergia retusa</i>		X	
<i>Dendrolobium</i> spp.			X
<i>Desmodium velutinum</i>			X
<i>Diphyssa robinoides</i>		X	
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	X	X	
<i>Erythrina berteroaana</i>	X	X	X
<i>Erythrina cochleata</i>	X	X	X
<i>Erythrina fusca</i>	X	X	X
<i>Erythrina lanceolata</i>	X	X	X
<i>Erythrina poeppigiana</i>	X	X	X
<i>Erythrina variegata</i>	X	X	X
<i>Erythrina edulis</i>	X	X	X
<i>Flemingia macrophylla</i>			X
<i>Gliricidia sepium</i>	X	X	X
<i>Inga</i> spp.	X	X	
<i>Mimosa scabrella</i>	X	X	
<i>Paraserianthes falcataria</i>	X		
<i>Pentaclethra macroloba</i>	X	X	
<i>Pithecellobium dulce</i>	X	X	
<i>Pithecellobium longifolium</i>	X	X	
<i>Pterocarpus hayesii</i>	X	X	
<i>Sesbania sesban</i>			X
<i>Stryphnodendron excelsum</i>	X	X	
<i>Tadehagi</i> spp.			X

Fuente: Argel y Maass 1995, Benavides 1994, Botero 1992, Russo y Botero 1996a, Botero y Russo 2001.

Nota: la mayoría de estas especies son leguminosas, lo cual no indica que necesariamente todas las leguminosas fijen nitrógeno. También se incluyen especies que, sin ser leguminosas, fijan nitrógeno atmosférico, en este caso representadas por *Alnus* y *Casuarina*. No se incluyen los nombres comunes, puesto que son diferentes entre países y regiones.

Bibliografía

- Botero, R. y F. Fernández. 1990. Utilización de herbicidas en la siembra, establecimiento y mantenimiento de praderas asociadas con leguminosas en el Piedemonte Amazónico del Caquetá, Colombia. Memorias de la primera reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. RIEPT, Amazonía. Lima, Perú. 10 p.
- Doll, J. D. 1979. Problemas de malezas de plantas forrajeras en suelos ácidos e infértiles del trópico. In Producción de pastos en suelos ácidos de los Trópicos. CIAT, Cali, Colombia. pp. 239-288.
- Ferguson, J. E. y M. Sánchez. 1990. El control integrado de malezas en la producción de semillas forrajeras. Documento presentado en el XIII Curso de Investigación para la producción y utilización de pastos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia, S.A., febrero 26 a mayo 5 de 1990.

3 El papel de los viveros forestales en la restauración

Autores | **Andrés Sanchún**
Germán Obando

Contenido

1.1	Introducción	349
1.2	La importancia de los viveros para la restauración	350
1.3	Factores a considerar para establecer un vivero	351
1.3.1	Selección del sitio.....	351
1.3.2	Diseño de vivero.....	352
1.3.3	Sistemas de producción	352
1.4	Secciones del vivero.....	353
1.4.1	Semilleros o almácigos	353
1.4.2	Área de sombra.....	354
1.4.3	Bancales	354
1.4.4	Área de almacenamiento y mezcla de sustrato.....	356
1.5	Cuidados y mantenimientos en etapa de crecimiento.....	357
1.5.1	Riego	357
1.5.2	Deshierbe y poda de raíces.....	357
1.5.3	Fertilización	357
1.5.4	Plagas y enfermedades	358
1.6.	Actividades previas a la producción de plántulas.....	359
1.6.1	Selección de especies	359
1.7.	Semillas forestales.....	362
1.7.1	Recolección de semillas	362
1.7.2	Tipos de frutos y semillas forestales.....	363
1.7.3	Manejo y transporte de semillas	364
1.8	Plántulas silvestres como material alternativo	366
1.9	Esquejes como alternativa de material vegetativo.....	367

1.10 Conservación y almacenaje de las semillas.....	367
1.11 Tamaño de las plántulas al momento de la restauración.....	369
Bibliografía	370
Anexos	372

Índice de cuadros y figuras

Cuadros

1. Características a considerar para la instalación de un vivero forestal	352
---	-----

Anexo

A.1. Restauración Forestal	372
A.2. Sistemas Agro-Forestales (SAF)	402
A.3. Usos Industriales (IND)	410
A.4. Usos Ecológicos (ECO)	432

Figuras

1. Vivero permanente tipo rústico	351
2. Estructura típica de camas de germinación	353
3. Sombra gradual con sarán, proceso de endurecimiento del material. Vivero Corredor Biológico, Bribri, Talamanca, Limón, Costa Rica.....	355
4. Orientación de bancales (este-oeste) y separación por callejones entre bancales. Plántulas en bolsas a pleno sol.	355
5. Bancales con contenedores a media sombra. Vivero Tropical flora reforestadora, São Paulo, Brasil	356
6. Estructura elevada donde se colocan las bandejas. Vivero Tropical flora reforestadora, São Paulo, Brasil	356

7.	Llenado de bolsa.....	357
8.	Bancales con bolsas.....	357
9.	Proceso de deshierbe.....	358
10.	Proceso de poda de raíz.....	358
11.	Atributos para la selección de especies en la restauración.....	359
12.	<i>Miconia affinis</i>	360
13.	<i>Hampea appendiculata</i>	360
14.	<i>Dipteryx panamensis</i> , heliófita durable, especie comercial, que se ha plantado en Costa Rica.....	361
15.	Árbol de <i>Lecythis ampla</i> (<i>Lecythidaceae</i>).....	361
16.	Fruto <i>Eschweilera collinsii</i>	361
17.	Árbol con forma adecuada.....	363
18.	Árbol de mala forma (reiteraciones y deformaciones basales).....	363
19.	Frutos apocárpicos (monocarpó) de <i>Guatteria amplifolia</i>	364
20.	Baya dehiscentes (<i>Virola sebifera</i>).....	364
21.	Frutos samaroides (<i>Terminalia oblonga</i>).....	364
22.	<i>Carapa guianensis</i> , especie de frutos y semillas de tamaño considerable, de dispersión barocoro, hidrocoro y zoocoro.....	364
23.	Fruto dehiscente de <i>Balizia elegans</i> (<i>Fabaceae</i>).....	365
24.	<i>Pterocarpus officinalis</i>	366
25.	<i>Otoba novogranatensis</i> fruto indehiscente.....	366
26.	Plántulas de <i>Pterocarpus officinalis</i> , en un bosque inundado del Caribe sur costarricense, posible fuente de material alternativo.....	366
27.	Almacenamiento de semillas a temperatura ambiente.....	368
28.	Material apto para llevar a proyectos restauración.....	369

1. El papel de los viveros forestales en la restauración

1.1 Introducción

La restauración de áreas degradadas se presenta como una necesidad para resolver problemas medioambientales y, a la vez, mejorar la producción de bienes y servicios ecosistémicos. A través de la restauración es posible mitigar los efectos del cambio climático mediante el secuestro de dióxido de carbono atmosférico en la biomasa arbórea (Canadell y Rapauch 2008) y se contribuye con la reducción de la pérdida de la biodiversidad y la usurpación de la frontera árida.

En la actualidad, a nivel mundial se han puesto en marcha programas destinados a restaurar millones de hectáreas. Por ejemplo, en setiembre de 2011 en Bonn, Alemania y lanzado por UICN, el gobierno de Alemania y la Asociación Mundial para la Restauración del Paisaje Forestal han firmado un compromiso mundial con el objetivo de iniciar la restauración de 150 millones de hectáreas de tierras para el año 2020.

A menudo se planea restaurar ecosistemas poco estudiados y con poca información sobre los atributos de las especies que lo habitan, con el consecuente desconocimiento de su desarrollo inicial, forma de propagación y producción. Con las estrategias de restauración actuales la cantidad de semillas necesarias para desarrollar estos programas se puede estimar en cientos de toneladas, superando con creces la capacidad de recolección y producción, por lo tanto, su disponibilidad es uno de los retos más significativos para la restauración a nivel de paisaje o a gran escala (Merritt y Dixon 2011).

La propagación de árboles para restauración de tierras degradadas en los trópicos puede hacerse de tres formas (Holl 2012): 1) plántulas producidas en viveros a partir de semillas, 2) la propagación vegetal de ciertas especies a partir de reproducción asexual, ya sea directamente en el sitio de restauración o en los viveros y 3) la siembra directa de semilla en el sitio de restauración. El uso de estos métodos dependerá de los objetivos del proyecto, la velocidad natural de recuperación y la ecología del sistema. El método más utilizado en los

trópicos es la producción de material en vivero a partir de semillas, sin embargo, hay que tomar en cuenta que las otras dos opciones requieren menos trabajo y el costo es menor.

Tomando en cuenta que la mayoría de los viveros comerciales y bancos de semillas ofrecen un número reducido de especies o las cantidades no son suficientes para la escala de los proyectos de restauración de paisaje, este Capítulo constituye una guía y apoyo, que incluye bibliografía, así como información y recomendaciones prácticas de técnicos y de la gente del campo involucrada en la producción de plántulas y el desarrollo de viveros rústicos con instalaciones sencillas y de tipo temporal.

La incorporación del conocimiento que tienen los pobladores locales sobre su región, la historia de uso de las especies, su ubicación y en algunos casos su propagación, son conocimientos de gran importancia para el éxito de los proyectos (Vargas, O. 2007). Por lo tanto, la participación de estas personas en la formación y establecimiento de una red de viveros locales permitirá solventar la necesidad de plántulas para los proyectos de restauración y, a la vez, generar nuevas fuentes de empleo e involucramiento de la comunidad, lo cual mejorará la aceptabilidad de un eventual programa de restauración, en función del enfoque de doble filtro que promueve la UICN sobre la restauración funcional del paisaje forestal.

1.2 La importancia de los viveros para la restauración

Un vivero forestal es un área dedicada a la producción de árboles de especies forestales, destinados a ser utilizadas en la restauración, forestación, reforestación, repoblación forestal o cualquier otra actividad que involucre el establecimiento de especies forestales. Es imprescindible estar al tanto de que la producción de plántulas es un proceso que inicia con la planeación del tipo de producción, la obtención del material a producir y el manejo, que culmina con la entrega de los árboles listos para sembrar en el campo.

El establecimiento de proyectos de restauración, por lo general, se desarrollan en medios difíciles y en la mayoría de los casos sin cuidados especiales de las plantaciones. Lo anterior exige el uso de material vegetal de buena calidad y disponibilidad para asegurar su sobrevivencia y desarrollo en campo. Normalmente la calidad del material vegetal está estrechamente relacionada con la morfología del material para sembrar, debe existir un equilibrio entre la parte aérea y la parte radicular de las plántulas.

Hoy en día es posible producir árboles en viveros a partir de semillas a través de diversos sistemas, desde la tradicional producción en bolsa hasta los no tradicionales como los sistemas de bandejas (tubos plásticos, *pellets*, contenedores, entre otros) (Rojas, F. 2006). En este Capítulo se dará mayor énfasis al sistema tradicional de bolsa como primera alternativa para la restauración. Se trata de construir redes de viveros rústicos con instalaciones sencillas y de tipo temporal, que no requieran muchos recursos económicos y grandes obras, así pueden ser replicados por las comunidades donde se lleven a cabo los proyectos de restauración (Figura 1).



Figura 1. Vivero permanente tipo rústico, a) vivero del Corredor Biológico; b) vivero temporal de comunidad indígena Bribri; c) materiales de construcción tradicionales de bosque, bambú y horcones de árboles de diámetros menores; d) uso de cuerdas como protección parcial para las plántulas. Foto: Andrés Sanchún.

Otra alternativa viable es la propuesta por Lozano (2009), que consiste en la creación de viveros principales o centrales y auxiliares. En los principales se realiza la producción de plántulas y el manejo durante las primeras semanas después de la germinación, después se trasladan a raíz desnuda a los viveros auxiliares ubicados cerca de los proyectos de restauración para reducir los costos y la pérdida de material por el traslado a grandes distancias.

1.3 Factores a considerar para establecer un vivero

El primer paso para establecer un vivero es la elección del sitio y el sistema productivo. Luego se abordan aspectos como la cantidad de plántulas, las especies a producir y los aspectos financieros del vivero (Rojas, F. 2006).

1.3.1 Selección del sitio

La selección adecuada del sitio donde se establezca el vivero es de suma importancia. El lugar debe ser en lo posible soleado y con buena orientación para disminuir el efecto de la sombra en el desarrollo de las plántulas. El acceso debe ser fácil, para que no se dificulte la carga y el transporte del material a los sitios de siembra. (Roman et ál. 2012).

Para asegurar la adecuada instalación y funcionamiento del vivero forestal se deben tomar en cuenta algunas consideraciones básicas señaladas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características a considerar para la instalación de un vivero forestal

Especies de AFN	Silvopasturas
Pendiente	Debe oscilar entre 1 a 5% con el fin de asegurar un buen drenaje del agua y eliminar los problemas de erosión.
Fuentes permanentes de agua	El origen del agua para el riego del vivero puede provenir de cursos superficiales como manantiales y pozos, por lo tanto, las instalaciones deben estar cerca de ríos, quebradas o sitios donde se puedan realizar pozos. El uso de aguas superficiales suele agregar semillas de malas hierbas.
Suelo	El suelo debe tener una profundidad de al menos 50 cm y no estar muy compactado. Evitar suelos arcillosos, arenosos y pedregosos. Cuando el suelo del sitio no es el adecuado se deben considerar fuentes de sustrato cercanas (tierra y arena), para la preparación de camas de germinación y el llenado de bolsas. Los pH más adecuados de los suelos oscilan entre 5,5 y 6,5.
Viento	Se deben evitar los sitios ventosos y sino es posible, se debería como mínimo pensar en la utilización de cortinas rompevientos o setos vivos.
Mano de obra	Asegurar la existencia de mano de obra disponible ya sea temporal o permanente, para realizar labores tales como llenado de bolsas, repique, riego y deshierbe.
Cercado	Evita daños a las plántulas por animales y personas ajenas a la actividad.
Control de malezas	Por lo general, el sitio tendrá malezas, las cuales deben ser eliminadas utilizando métodos mecánicos, químicos o manuales.
Manejo de la sombra	La coexistencia de árboles en el área del vivero produce sombra, lo que hace necesario su poda o aprovechamiento.
Preparación del terreno	Es importante eliminar piedras, tocones o cualquier otro objeto que no permita que las bolsas queden niveladas o fijas. En algunas ocasiones se debe nivelar el terreno si es necesario. Cuando el vivero se establece en sitios con pendiente, se recomienda realizar terrazas, por lo general, de un metro de ancho siguiendo las curvas de nivel.

Fuente: modificado por los autores a partir de Rojas (Rojas, F. 2006, Román et ál. 2012).

1.3.2 Diseño de vivero

Una vez seleccionado el sitio donde se establecerá el vivero, el siguiente paso será diseñar su distribución. Se debe tomar en cuenta el tipo de producción, la cantidad de plántulas a producir, los períodos de producción de las especies seleccionadas, y los recursos económicos disponibles.

1.3.3 Sistemas de producción

Los sistemas de producción son los métodos que permiten propagar y manejar plántulas. La elección del sistema de producción depende de factores como el mercado, las especies a propagar, las condiciones del sitio por plantar, el área, la escalada de producción y el tamaño de la semilla. Dentro de estos sistemas podemos mencionar las bolsas plásticas (sistema tradicional), contenedores, *jiffy* (*pellets*), estacas, pseudoestacas, tubos de plástico, bambú, entre otros. Las bolsas de polietileno son las que comúnmente se utilizan en viveros y existen en varios tamaños; 4 x 8", 5 x 8", 6 x 8" y para frutales 10 x 15" (Rojas, F. 2006).

1.4 Secciones del vivero

Por lo general, un vivero cuenta con tres partes fundamentales: semilleros o almácigos, área de media sombra y los bancales.

Otras secciones importantes en el vivero son:

- Área para colocación de material de sustrato (arena, tierra, broza, entre otros).
- Área de propagación de plantas a raíz desnuda, estacas, entre otros.
- Bodega para guardar las herramientas y el equipo.
- Bodega para guardar insumos, fertilizantes y agroquímicos.

1.4.1 Semilleros o almácigos

El semillero o almácigo es el área donde se concentra y estimula la germinación. Existen dos formas de desarrollarlo: una directamente en el suelo en bancales, y otra, en camas de germinación. Las camas se confeccionan con un cajón de madera de 1 metro de ancho y longitud variada, se establecen a una altura que oscila entre los 0,80 metros hasta 1,10 metros (Figura 2). Este germinador se llena con una mezcla de arena de río en una proporción de tres tantos por dos de suelo oscuro (negro) rico en materia orgánica. Sin embargo, algunos productores utilizan solo arena de río para llenar el germinador. Una vez lleno se colocan las semillas a una profundidad más o menos del su tamaño para que germinen y luego se trasplantan al sistema productivo seleccionado (bolsas, *pellet*, entre otros).



Figura 2. Estructura típica de camas de germinación.
Foto: Andrés Sanchún.

El riego en los germinadores debe ser fino para evitar descubrir las semillas, se aconseja utilizar un atomizador manual o aspersores. Algo importante de mencionar en el proceso de germinación es que el sustrato debe mantenerse húmedo.

En almácigos establecidos en regiones tropicales, con sitios muy calurosos y con alta intensidad lumínica, se recomienda, en la época seca, aplicar dos riegos por día, uno temprano por la mañana antes que el sol caliente y, otro por la tarde, para evitar la evapotranspiración de las plántulas y se aprovecha mejor el riego.

Para el manejo de la luz en el germinador, se pueden utilizar diferentes tipos de materiales, como por ejemplo, el sarán que regula y homogeniza la intensidad de luz y disminuye la entrada de agua proveniente de fuertes lluvias.

El combate de plagas y enfermedades debe ir más allá de lo convencional a base de formulaciones de síntesis química. Es importante promover y llevar a la práctica estrategias que integren diversas tácticas biológicas, químicas, físicas, el integrado de plagas y las prácticas culturales con el propósito de generar el menor daño posible al ambiente.

Una vez que aparecen las primeras hojas, es necesario realizar el repique o trasplante, por lo general, se realiza a los pocos días (cuatro-ocho días) de germinadas las semillas (Cozzo 1976). Consiste en sacar las plántulas de los almácigos al sistema productivo seleccionado. Antes del repique se recomienda regar unas dos horas antes para evitar dañar las raíces. Las plántulas transplantadas se deben colocar a la sombra y para evitar la infección por microorganismos causantes del mal de talluelo, se recomienda realizar una aplicación preventiva de algún producto agroquímico. Cuando las especies presentan altos porcentajes de germinación se podría realizar la siembra directa en las bolsas o *pellet*.

1.4.2 Área de sombra

El área de media sombra es a donde se llevan las plántulas después de ser repicadas, así se reduce la pérdida de agua por evaporación del suelo y se disminuye la transpiración (pérdida de agua por las hojas). Asimismo se aminora la temperatura sobre las plantas y el sustrato para evitar quemaduras y marchitez de las plántulas (Figura 3).

1.4.3 Bancales

Las eras donde se preparan los árboles para su futuro en el campo se denominan bancales o áreas de producción. Por lo general, deben tener 1 metro de ancho y una longitud variada y estar orientadas en dirección este-oeste para recibir mayor cantidad de sol durante el día. Estas eras deben estar separadas por callejones de alrededor de medio metro, que pueden servir también como desagües y, a la vez, para la manipulación de las plántulas en los trabajos de mantenimiento o facilitar la carga de producto para su comercialización (Figura 4 y 5).

En el caso de utilizar el sistema de contenedores, tubetes y *pellets*, se recomienda colocarlos encima de una estructura elevada que facilite la poda aérea de raíces. Sin embargo, esta es una alternativa más cara (Figura 6).



Figura 3. Sombra gradual con sarán, proceso de endurecimiento del material. Vivero Corredor Biológico, Bribri, Talamanca, Limón, Costa Rica. Foto Andrés Sanchún.



Figura 4. Orientación de bancales (este-oeste) y separación por callejones. Plántulas en bolsas a pleno sol. Vivero Corredor Biológico en Bribri, Talamanca, Limón, Costa Rica. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 5. Bancales con contenedores a media sombra. Vivero tropical flora reforestadora, São Paulo, Brasil. Foto: Eduardo Ciriello.



Figura 6. Estructura elevada donde se colocan las bandejas. Vivero Tropical flora reforestadora, São Paulo, Brasil. Foto: Eduardo Ciriello.

1.4.4 Área de almacenamiento y mezcla de sustrato

En esta área se lleva a cabo la preparación del sustrato para el llenado de las bolsas y/o tubetes. Debe estar ubicada, en lo posible, cerca de un camino para que los vehículos que transportan el material tengan acceso directo. Las instalaciones deben estar techadas, preferiblemente, para controlar la humedad, facilitar el llenado de bolsas y proteger a los trabajadores de las condiciones climáticas (Figuras 7 y 8).



Figura 7. Llenado de bolsa. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 8. Bancales con bolsas. Foto: Andrés Sanchún.

1.5 Cuidados y mantenimientos en etapa de crecimiento

1.5.1 Riego

Debe ser en las primeras horas de la mañana o en la tarde. Cuando las plántulas alcanzan los 30 días de edad se realiza día de por medio. El riego se suspende gradualmente al finalizar el período de producción y, preferiblemente, aplicar unos días antes de la entrega de las plantas. En época lluviosa se suspende del todo (Rojas, F. 2006).

1.5.2 Deshierbe y poda de raíces

Habitualmente el deshierbe debe realizarse después de haber regado el vivero. El control de arvenses (malezas) se realiza de forma manual para evitar el daño de raíces y la extracción accidental de las plántulas, se recomienda entonces hacerlo cuando la maleza está pequeña (Figura 9).

La poda de raíces salientes de las bolsas o contenedores, por lo general, se realiza con una tijera de podar limpia y desinfectada, preferiblemente por la tarde para disminuir la pérdida de humedad. El objetivo de esta poda es fomentar la ramificación de raíces dentro de la bolsa o contenedor, además no permite que las raíces expuestas de las bolsas penetren el suelo y se dañen a la hora del trasplante (Figura 10).

1.5.3 Fertilización

La primera fertilización se puede realizar alrededor de los 20 días después del trasplante. Usar una fórmula completa de dos a tres gramos alrededor del tallo de la plántula, pero

evitar el contacto con el tallo y las raíces. Un mes después de la primera aplicación puede suministrar una segunda dosis de alrededor de 6 gramos por plántula con la formula 12-24-12 (Rojas, F. 2006).



Figura 9. Proceso de deshierbe. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 10. Proceso de poda de raíz. Foto: Andrés Sanchún.

1.5.4 Plagas y enfermedades

El manejo exitoso de las enfermedades y plagas en un vivero son indispensables para obtener una producción adecuada, por lo tanto, la prevención y las medidas de control deben ser apropiadas. Para ello es necesario adoptar una serie de normas que faciliten la prevención, dentro de las cuales se pueden citar:

- Vigilancia continua para detectar y prevenir enfermedades.
- Capacitación del personal en reconocimiento de enfermedades más comunes.
- Mantener riego, drenajes y espaciamiento adecuados.
- Remover el material enfermo o muerto y desecharlo lejos del vivero.
- Lavar y desinfectar todas aquellas herramientas que entren en contacto con material enfermo.
- Si aparecen enfermedades ocasionadas por hongos, se pueden controlar con fungicidas. Lo ideal es prevenir la infección regulando las condiciones de humedad presentes en el vivero. Suelos muy húmedos con drenajes deficientes favorecen el apareamiento de algunas enfermedades.

Por otro lado, el control de hormigas (*Atta* sp.) se debe hacer pre y pos instalación del vivero con el uso de un insecticida. La sulfluramida ha demostrado un buen efecto en el manejo de estos insectos. Para otras plagas de follaje se recomienda la aplicación de insecticidas de contacto.

1.6 Actividades previas a la producción de plántulas

1.6.1 Selección de especies

Para el éxito de los proyectos de restauración, rehabilitación, revegetación o cualquier otra estrategia que permita disminuir la degradación de sitios, la selección de las especies es un aspecto fundamental. Es importante hacer la selección bajo un nivel de atributos funcionales acorde con los sitios por restaurar (Figura 11).

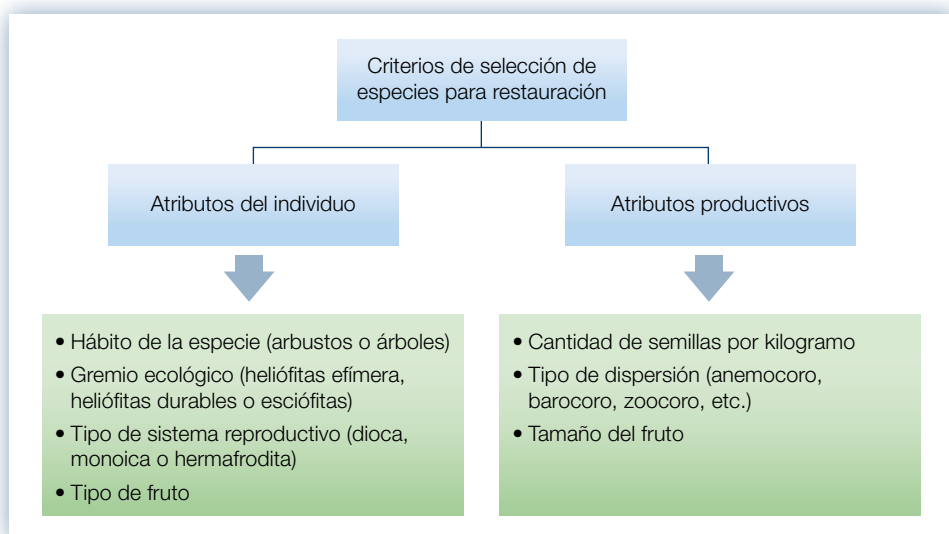


Figura 11. Atributos para la selección de especies en la restauración.

Fuente: modificado por los autores a partir de Vargas, O. 2007.

Dentro de los atributos de cada individuo cabe destacar el gremio ecológico de las especies. Un gremio es un grupo de especies que utilizan los mismos recursos del ambiente, patrones generales de regeneración natural, potencial de crecimiento, propiedades de madera y usos generales de una forma similar (Finegan 1996). De igual forma Budowski, (1965) Lamprecht (1990), Schutz citado por Beek & Sáenz (1992), mencionan que se puede realizar clasificaciones de las especies arbóreas de acuerdo con los requerimientos de luz, ya que es uno de los principales factores que afectan las posibilidades de establecimiento y crecimiento de la regeneración.

Diversos autores mencionan que existen patrones intermedios dentro de estas clasificaciones al considerar la dinámica de aperturas (claros) y las diferentes categorías biológicas de las especies. Sin embargo, para este acápite, las clasificaremos en tres grupos: heliúfitas efímeras, heliúfitas durables y esciófitas, con el fin de simplificar la selección de especies para el establecimiento de proyectos de restauración, rehabilitación o cualquier otra estrategia que disminuya la degradación de áreas.

Heliófitas efímeras (HE): especies intolerantes a la sombra con características típicas de reproducción “r”, generalmente, reproducción precoz y masiva, semillas pequeñas con viabilidad larga; crecimiento rápido en buenas condiciones de luz y tienen, por lo general, una vida corta. Distribución diamétrica en forma de campana con los individuos agrupados en las primeras tres categorías diamétricas. (Finegan 1996). Ejemplo de estas especies para Mesoamérica tenemos: *Cecropia* spp., *Heliocarpus* spp., *Miconia* spp., entre otros (Figuras 12 y 13).



Figura 12. *Miconia affinis*. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 13. *Hampea appendiculata*. Foto: Andrés Sanchún.

Dentro de las ventajas de utilizar las especies del gremio HE podemos mencionar que son especies abundantes de fácil adaptación, por lo general, resistentes, de rápido crecimiento, es decir, que al cerrar el dosel controlan las gramíneas, además facilitan el establecimiento de otras especies porque sirven rápidamente de percha de aves (Vargas 2012).

Heliófitas durables (HD): especies intolerantes a la sombra, de vida relativamente larga. Las semillas mantienen la viabilidad por menos tiempo que las efímeras, pueden regenerarse en espacios abiertos y en claros más pequeños del bosque, aunque requieren gran cantidad de luz para establecerse y sobrevivir. Presentan distribución diamétrica errática o en cohortes debido a que la regeneración depende de disturbios en el bosque, los cuales no ocurren todo el tiempo, sino a intervalos irregulares (Finegan 1996). Dentro de estas especies se encuentran algunas con mediano y alto valor comercial como por ejemplo: *Cedrela* spp., *Dipteryx* spp., *Hieronyma* spp., entre otros. (Figura 14).

Esciófitas (ES): especies tolerantes a la sombra, generalmente de crecimiento lento comparadas con las heliófitas, pero reaccionan a la apertura del dosel, de vida larga, los frutos y semillas son de tamaño mediano a grande con estrategias de reproducción “k”, de reproducción tardía, baja y dispersión limitada. Distribución diamétrica en forma de “j” invertida típica de poblaciones disetáneas en bosques primarios y primarios intervenidos. (Finegan 1996). Dentro de este gremio podemos encontrar especies de las familias *Sapotaceae*, *Lecythidaceae*, *Chrysobalanaceae* (Figura 15 y 16).



Figura 14. *Dipteryx panamensis*, heliófita durable, especie comercial, que se ha plantado en Costa Rica, a partir de tres años producen frutos que dan sustento a la fauna silvestre. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 15. Árbol de *Lecythis ampla* (Lecythidaceae). Foto: Andrés Sanchún.



Figura 16. Fruto *Eschweilera collinsii*. Foto: Andrés Sanchún.

Otros atributos que podrían presentar las especies seleccionadas pueden basarse en aspectos de funcionalidad, tales como: fijación de nitrógeno, sustento a la fauna silvestre, producción de hojarasca (materia orgánica) y forraje para animales domésticos, entre otros.

La selección de especies debe estar acorde con la estrategia de restauración, por ejemplo, si se va a realizar una restauración ecológica, como primer paso se debe seleccionar

un ecosistema de referencia y desarrollar un listado de especies, si no se contara con un ecosistema de referencia, se puede consultar la opinión de botánicos expertos, inventarios regionales o nacionales del sitio por restaurar o consultar a los pobladores de la región (Vargas, O. 2007).

1.7 Semillas forestales

Cuando no se dispone de personal o herramientas mínimas para recolectar semillas, se puede recurrir a bancos de semillas o a una organización productora confiable. El precio y cantidad de semillas disponible está condicionado a la especie y a su calidad. Su precio por lo general es alto, en algunas ocasiones puede alcanzar cientos de dólares por kilogramo. De acuerdo con la especie seleccionada, la semilla se puede obtener localmente o se debe importar. Hay que tener en cuenta que estos bancos de semilla, por lo general, tienen un número reducido de especies y en algunos casos la disponibilidad es ocasional.

Otras opciones para obtener semillas es recolectar directamente de las fuentes semilleras; para los casos de proyectos de restauración ecológica, revegetación, reclamación, etc., no es necesario que el árbol seleccionado presente buena forma, pero si estar saludable. Sin embargo, en los proyectos de restauración con un enfoque comercial, la recolección de la semilla depende de aspectos donde la selección de árboles madre se basa en características visibles que lo hagan sobresalir (fenotipo). Dentro de estas características podemos mencionar:

- Árboles sanos, de buena forma, rectos y sin bifurcaciones, por lo general dominantes o codominantes, que al menos produzcan una troza comercial (Figura 17).
- Árboles maduros, pero no viejos.
- Evitar recolectar material de árboles aislados, solo en los casos donde se involucre especies escasas o amenazadas, especies con fructificaciones en períodos superiores a un año.
- En la mayoría de los casos las semillas, de la especie a recolectar, deben proceder de la mayor cantidad de árboles posibles (20-30 árboles), con una separación mínima de 100 metros entre cada árbol madre.

Dentro de las fuentes de germoplasma para recolectar este tipo de material están los huertos semilleros, los rodales semilleros, bosque natural y plantaciones comerciales (Jara 1998).

1.7.1 Recolección de semillas

La recolección de semillas depende de aspectos como tamaño del árbol, tipo de fruto, fenología de las especies (floración y fructificación), conocimiento de la maduración (coloración, consistencia y textura del fruto) y mecanismos de dispersión. El último aspecto define la capacidad de las plantas para colonizar diferentes tipos de hábitats y la capacidad para sobrevivir por períodos más largos en condiciones adecuadas de germinación. Es preferible recolectar los frutos cuando el árbol está en plena producción, en cuyo caso, juega un papel



Figura 17. Árbol con forma adecuada. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 18. Árbol de mala forma (reiteraciones y deformaciones basales). Foto: Andrés Sanchún.

fundamental para la restauración el involucramiento del conocimiento de los pobladores locales (ubicación de árboles semilleros, aspectos fenológicos, entre otros).

1.7.2 Tipos de frutos y semillas forestales

El entendimiento básico de la morfología del fruto y de la semilla puede ser útil para la elección del método de recolecta, el tipo de tratamiento pregerminativo (si hubiese alguno) y la selección del método de producción, entre otros. La mayoría de los árboles en los bosques tropicales húmedos las especies fructifican durante todo el año, por lo que es necesario realizar expediciones de recolecta cada mes. En los bosques tropicales secos, la fructificación, por lo general, llega a su punto culminante al final de la estación seca, lo que significa menos excursiones de recolecta (Figura 19).

Cuando la recolección se hace directamente del árbol en especies con frutos dehiscentes y semillas aladas, es necesario subir al árbol para evitar que el fruto se abra y la semilla sea esparcida por el viento. Se debe tener especial cuidado al cortar los frutos para no causar daño al árbol madre. Se deben usar diferentes herramientas (podadoras de extensión, tijeras, entre otros), para cortar los frutos y evitar romper o quebrar las ramas. Ejemplos de especies dehiscentes son los géneros *Cedrela* spp., *Vochysia* spp., *Virola* spp. o con frutos secos indehiscentes tipo samara como el caso de *Terminalia* spp. (Figuras 20 y 21).

La recolección directa del suelo se realiza para aquellas especies que producen frutos y semillas grandes y pesadas con sistemas de dispersión barocoro (que caen al suelo) (Figura 22), de esta forma se pueden colocar mallas o mantas debajo de los árboles para facilitar la

recolección. Entre las especies con estas características se encuentran: *Carapa guianensis* (cápsulas globosas dehiscentes) y *Enterolobium cyclocarpum* (legumbre indehiscente).



Figura 19. Frutos apocárpicos (monocarpo) de *Guatteria amplifolia*. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 20. Baya dehiscentes (*Virola sebifera*). Foto: Andrés Sanchún.



Figura 21. Frutos samaroides (*Terminalia oblonga*). Foto: Andrés Sanchún.



Figura 22. *Carapa guianensis*, especie de frutos y semillas de tamaño considerable, de dispersión barocoro, hidrocoro y zoocoro. Al presentar tres tipos de dispersión facilita la colonización de diferentes hábitats. Foto: Andrés Sanchún.

1.7.3 Manejo y transporte de semillas

Una vez recolectado los frutos o semillas, el siguiente paso es el transporte y etiquetado. Deben trasladarse en sacos o costales, canastos o cajas. Es importante que se mantengan bien aireados, para evitar condiciones de alta humedad y temperatura, situación que afecta la calidad de la semilla. No es recomendable almacenar semillas en bolsas plásticas. Es de suma importancia etiquetar con el nombre de la especie y la fecha de recolección.

De preferencia, se debe realizar una limpieza en el campo para eliminar hojas, ramas o cualquier otro tipo de material ajeno al fruto que produzca humedad o pueda contaminar

el material. El transporte hacia el vivero debe realizarse lo más pronto posible para evitar el deterioro y la pérdida de viabilidad de las semillas. Posteriormente, se deben depositar los frutos sobre mantas, periódicos u otro tipo de superficie y darle vueltas varias veces al día. Secar a la sombra o al sol y estimular la apertura de los frutos para luego realizar la extracción de las semillas.

En el caso de frutos carnosos (*Spondia*, *Sacoglottis*, *Ficus*, etc.), se debe esperar a que sobre-maduren a la sombra, o remojar los frutos durante 2-3 días para suavizar la pulpa y facilitar la extracción de la semilla. Se lavan con agua y, como último paso, se inicia el proceso de secado. La no eliminación de la pulpa fomenta la infección por hongos, lo cual origina un menor porcentaje de germinación.

Los frutos secos dehiscentes se abren de manera natural, se deben extender en un lugar seco y soleado hasta que se abran. En la mayoría de los casos las semillas caen por sí solas o bien pueden ser sacudidas con facilidad, como ocurre en la mayoría de las vainas de la familia Fabaceae (Figura 23).



Figura 23. Fruto dehiscente de *Balizia elegans* (Fabaceae). Foto: Andrés Sanchún.

En cuanto a los frutos secos indehiscentes (que no se abren naturalmente), se deben cortar o abrir con algún instrumento. La mayoría de los frutos como las samaras o con alas (p. ej. *Pterocarpus*, *Aspidosperma*, etc.), deben colocarse enteros en bandejas de germinación (Figura 24). La germinación de semillas que están cubiertas por un arilo se acelera casi siempre raspando el arilo (*Virola* spp., *Otoba* spp., etc.) (Figura 25).

Es de suma importancia sembrar semillas de calidad, evitar las que presentan algún signo de deterioro (infección por hongos, marcas de dientes de animales, perforaciones, hinchadas). Cuando las semillas están secas, se limpian y se eliminan las que no estén en buenas

condiciones. Las que poseen un buen tamaño se colocan en agua a temperatura ambiente para eliminar las que flotan.



Figura 24. *Pterocarpus officinalis*. Foto: Andrés Sanchún.



Figura 25. *Otoba novogranatensis* fruto indehiscente. Foto: Andrés Sanchún.

1.8 Plántulas silvestres como material alternativo

El producir plántulas a partir de semillas puede llevar períodos largos de más de 12 meses, se debe esperar a que los árboles parentales fructifiquen y las semillas germinen, es decir, que las plántulas silvestres provenientes de bosques se convierten en una fuente alternativa de material vegetativo.

Este tipo de material son plántulas que se extraen del bosque y se cultivan en el vivero. Los árboles en los bosques normalmente producen una gran cantidad plántulas excedentes, la mayoría de las cuales muere, de manera que extraer algunas y transferirlas al vivero no hacen daño al ecosistema boscoso (Figura 26). Por ejemplo W. Vargas 2005, observó más de



Figura 26. Plántulas de *Pterocarpus officinalis*, en un bosque inundado del Caribe sur costarricense, posible fuente de material alternativo. En promedio se pueden encontrar entre 65 y 78 plántulas por m² según los autores. Foto: Andrés Sanchún.

tres millones de plántulas entre 3-10 cm bajo la copa de 10 árboles de *Ampelocera albertiae* (Ulmaceae), en Calarcá, Colombia. De esta manera las plántulas deben ser colectadas en la estación lluviosa cuando el suelo esta suave, extraer cuidadosamente las plántulas más jóvenes con una cuchara, machete o pala, reteniendo un terrón de suelo (adobe), alrededor de las raíces para minimizar el daño. El transporte al vivero se puede realizar en hojas de Musaceae o Arecaceae transformadas en contenedores baratos. Las plántulas más viejas y mayores a 20 cm de altura presentan alta mortalidad por el impacto del trasplante.

El material proveniente de bosques una vez trasplantado se debe mantener bajo sombra densa durante más o menos seis semanas, de ahí en adelante se sigue el procedimiento y cuidado normal de los árboles jóvenes producidos a partir de semilla.

1.9 Esquejes como alternativa de material vegetativo

El esqueje o estaca es un método de propagación vegetal que consiste en tomar una porción de la planta, por ejemplo, un trozo de rama, tallo o raíz, y conseguir que produzca raíces para formar un nuevo individuo. Es una forma rápida y económica de obtener nuevos árboles. Con este método de propagación, las características del árbol obtenido son exactamente las mismas que las del árbol del cual se tomó la estaca (Hartman y Kester 1995), así se conocen de antemano las características que poseerá el nuevo individuo.

Los esquejes deben tener entre 5-10 cm de longitud y 2-5 mm de grosor. Es posible esquejar estacas más grandes, pero la posibilidad de enraizarlas es menor. Sin embargo, cuando el material es para utilizarlo en cercas vivas pueden ser de 2,5 metros de largo y 3,0 a 5,0 centímetros de diámetro, realizar un corte sesgado en ambos extremos y eliminar las hojas y las ramas.

En la instalación de cercas vivas el uso de propagación vegetativa asexual y de especies con alta capacidad de rebrote es indispensable, también para enriquecer áreas restauradas con estadios sucesionales tempranos, especies raras o con problemas de fructificación o germinación. Cuando se utilice este medio de propagación es recomendable recolectar material de la mayor cantidad de árboles padres (Elliott, et ál. 2013).

1.10 Conservación y almacenaje de las semillas

Cuando las semillas no se puedan germinar, después de ser recolectadas, el almacenamiento es una estrategia que nos permitirá asegurar material para el próximo período de producción. Se debe realizar dependiendo del potencial de almacenamiento de cada especie, el cual depende de la clasificación según su potencial fisiológico: ortodoxas, intermedias y recalcitrantes. Las ortodoxas permanecen viables a contenidos de humedad entre un 2,0-8,0%, las recalcitrantes soportan la deshidratación entre un 15,0 y 50,0% de humedad, aquellas con un grado de humedad entre 10,0 y 12,5% se consideran intermedias (Farrant et ál. 1993, Elliott et ál. 2013).

Por otra parte, el almacenamiento consiste en tratar de preservar la capacidad de germinación de las semillas y protegerlas de animales e insectos. Toda semilla que no sea sembrada, debe ser almacenada y para que no pierda su viabilidad y mantenga la capacidad de germinación se deben tener en cuenta aspectos como:

- Contenido de humedad del ambiente bajo entre 5 y 10%.
- Mantener preferiblemente las semillas a temperaturas entre cuatro y cinco grados celsius, sin embargo, se pueden mantener entre 10 y 15 grados, pero pierde la viabilidad más rápido, depende de cada especie.



Figura 27. Almacenamiento de semillas a temperatura ambiente. Foto: Andrés Sanchún.

Para un informe exhaustivo de almacenamiento de semillas se recomienda el texto de referencia *A guide to handling tropical and subtropical forest seed*.

La latencia o letargo es el período durante el cual las semillas viables son incapaces de germinar a pesar de poseer las condiciones de humedad, luz y temperatura. Esta característica de las semillas tiene como función restringir la germinación en la planta madre antes de su dispersión en el campo. Además, se considera que la latencia es una adaptación que contribuye a la supervivencia del individuo, limita la germinación cuando los factores ambientales son desfavorables para el desarrollo de la plántula (Elliott et ál. 2013).

En el vivero, la latencia de semillas prolonga el tiempo de producción, por ello se emplean normalmente diferentes tratamientos pregerminativos que es cualquier proceso mecánico, físico y/o químico que se aplica con el objetivo de acelerar y aumentar la germinación y que depende de los mecanismos específicos en cada especie. Los tratamientos más frecuentes y conocidos son la escarificación y la maceración.

La escarificación consiste en lijar sectores de la semilla hasta exponer los suaves tejidos internos, lo que permite que la humedad penetre con mayor facilidad hasta el embrión, y así, se desarrolle con mayor facilidad y rompa sencillamente el resto de la cáscara. Este tipo de tratamiento es más aplicable para especies con cáscara dura (*Samanea*, *Hymeneae*, *Enterolobium*, entre otras).

Cuando las semillas son de testa dura, pequeñas y difíciles de manejar, se aplica el macedado, el cual consiste en aplicar agua hirviendo o tibia a las semillas sumergidas en un recipiente por un período de 24 horas. Para un informe exhaustivo del tratamiento de semillas se recomienda el texto de referencia *A guide to handling tropical and subtropical forest seed*.

1.11 Tamaño de las plántulas al momento de la restauración

Los árboles pequeños, por lo general, tienen una tasa de mortalidad posplantación más alta que aquellos individuos más desarrollados, debido a la competencia con las plantas arvenses. Sumado a esto, las plántulas más pequeñas requieren más mantenimiento pues son suprimidas por las pasturas y plantas arvenses. Por ejemplo, en proyectos de reforestación en Sarapiquí, Costa Rica plantaciones establecidas con plántulas provenientes de *Pellets* o *Jiffys*, (15 cm de altura promedio), requerían tres veces más mantenimiento (rodajeas y desmatona) que aquellas plantaciones establecidas con plántulas provenientes de bolsas con tamaños entre 35 y 45 cm. Además, cuando las pasturas son muy agresivas como por ejemplo, la *Panicum fasciculatum*, el porcentaje de mortalidad superaba el 35%. Por otro lado, los árboles más grandes utilizados en proyectos de restauración son más susceptibles al impacto de trasplante, además los costos de transporte y siembra son más elevados, aunque compensados por las altas tasas de sobrevivencia y crecimiento (Vargas, W. 2012).

En proyectos de restauración basados en la aceleración de la sucesión en Colombia, Vargas, W. 2012, recomienda un tamaño de 70 cm de las plántulas. Para aquellas especies de comportamiento esciófito (acápite 1.6.1), la altura recomendada del material oscila entre 0,6 y 1,0 metro, el cual ha sido probado en varios proyectos de restauración (Figura 28). Para especies de rápido crecimiento como las heliófitas efímeras, el tamaño adecuado del material es alrededor de 35 cm a 40 cm.



Figura 28. Material apto para llevar a proyectos de restauración, árbol de 95 cm de *Platydictyon pinnatum*. Foto: Andrés Sanchún.

Bibliografía

- Canadell J. y M.R. Raurach. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science* 320,1456(2008), DOI: 10.1126/ Science.1155458.
- Cozzo, D. 1976. Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. 167-215 pp.
- Elliott, S.D., D. Blakesley y K. Hardwick, 2013. Restauración de bosques tropicales: un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew; 344 pp.
- Guide to Handling Tropical and Subtropical Forest Seed, Lars Schmidt 2000. Danida Forest Seed Centre. 511 pp. ISBN 87-982428-6-5.
- Holl, K.D. 2012. Tropical forest restoration, in *Restoration Ecology*. Eds. Van Andel J. y J. Aronson. Malden, MA. Blackwell Publishing. pp.103-114.
- Hartman H.T. y D.E. Kester. 1995. Propagación de plantas principios y prácticas. Cuarta reimpresión. Ed. Continental S.A. de C. V. México. 760 pp.
- Jara, L. F. 1988. Establecimiento y manejo de rodales semilleros de especies prioritarias en América Central, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica Informe Técnico N.º 148.
- Finegan, B. 1996. "Texto de Clases del Curso Bases Ecológicas para el Manejo de Bosques Tropicales". CATIE (mimeograf.).
- Merritt D.J. y K.W. Dixon. 2011. Restoration seed Banks a matter of scale. *www.science-mag.org* vol 332.22 April 2011. Published by AAAS.
- Rojas, R.F. 2006. *Vireros Forestales*. 2ed. EUNED. San José, C. R. 248 pp.
- Roman, F.; Rivieth, L.; Sautu, A.; Deago y J.S. Hall, (2012). Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotropico. Environmental Leadership and Training Initiative-ELTI, Yale School of Forestry & Environmental Studies 205 Prospect Street, New Haven, CT 06511, USA.

- Vargas, O. (ed.) 2007. Restauración ecológica del bosque altoandino. Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.) Universidad Nacional de Colombia, Acueducto de Bogotá, Jardín Botánico y Secretaría Distrital de Ambiente.
- Vargas, W. 2012. Los bosques secos del Valle del Cauca, Colombia: una aproximación a su flora actual. *Biota Colombiana* 13:102-164.

Anexo

Lista de especies para la restauración en Mesoamérica

Para mayor información, consulte a la página web Especies para Restauración (www.especiesrestauracion-uicn.org)

Cuadro A1. Restauración Forestal

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
<i>Fabaceae</i>	<i>Abarema adenophora</i>	<i>Pithecellobium adenophorum</i>	A	Hond.-SA.	ECO,IND
<i>Fabaceae</i>	<i>Abarema idiopoda</i>	<i>Albizia idiopoda</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Acacia mangium</i>		A	Cultivada de Méx.-SA.	IND
<i>Cactaceae</i>	<i>Acanthocereus tetragonus</i>	<i>Acanthocereus pentagonus</i>	AR	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Solanaceae</i>	<i>Acnistus arborescens</i>		AR	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
<i>Arecaceae</i>	<i>Acrocomia aculeata</i>	<i>Acrocomia vinifera</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Albizia adinocephala</i>	<i>Pithecellobium adinocephalum</i>	A	Guat.-Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Albizia niopoides</i>	<i>Albizia caribaea</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Alchornea costaricensis</i>		A	Hond.-NSA.	ECO,IND
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Alchornea latifolia</i>	<i>Alchornea glandulosa</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
<i>Sapindaceae</i>	<i>Allophylus racemosus</i>	<i>Allophylus occidentalis</i>	A	Guat.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Alnus jorullensis</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Picramniaceae</i>	<i>Alvaradoa amorphoides</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Amphipterygium adstringens</i>	<i>Hypopterygium adstringens</i>	A	Méx.-CR.	ECO,IND,SAF
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Anacardium rhinocarpus</i>	A	Hond.-SA	ECO,IND
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Anacardium occidentale</i>	<i>Acajuba occidentalis</i>	AR	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Andira inermis</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona cherimola</i>	<i>Annona pubescens</i>	A	Cultivada en los trópicos	IND,SAF
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona glabra</i>	<i>Annona palustris</i>	A	Méx.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona muricata</i>	<i>Annona bonplandiana</i>	A	Cultivada en los trópicos	IND,SAF
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona purpurea</i>	<i>Annona involucrata</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona reticulata</i>	<i>Annona excelsa</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Malvaceae</i>	<i>Apeiba membranacea</i>		A	Hond.-SA	ECO,IND
<i>Malvaceae</i>	<i>Apeiba tibourbou</i>		A	Méx.-SA.	ECO,IND
<i>Fabaceae</i>	<i>Apoplesia paniculata</i>	<i>Microlobium glandulosum</i>	A	Méx.-CR.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-400	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	(50-)400-1900	EP
Plantaciones	Yermos	BH, BMH, BS	0-400(-1100)	HD
Bosque secundario, Yermos, Acantilados rocosos	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-900(-1400)	HE
Adventicio	Ruderal	BH, BMH, BP	(0-)300-2600	HE
Bosque secundario, Sabanas, Yermos	Zonas cálidas	BH, BS	0-800	HD
Bosque secundario, Tacotal, Zonas riparas	Amplio	BH, BMH, BS	0-1100(-1600)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-900(-2000)	HD
Bosque secundario	Ecotonos nemorales	BH, BMH, BP	0-2250	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1400)	HD
Rodales naturales	Yermos	BP, BSA	(900-)1300-3500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1200(-3400)	HD
Bosque costero, Pendientes rocosas	Litoral arenoso, Zonas cálidas	BH, BS	0-1300	HD
Bosque de galería	Suelos profundos	BH, BMH, BS	0-1000(-1800)	HD
Plantaciones, Adventicio	Yermos	BH, BMH, BS	0-1300(-2000)	HE
Bosque secundario	Llanos	BH, BMH, BS	0-1100(-1800)	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BP	50-2100	HD
Manglar y bosque anegado	Ecotonos nemorales	BH, BMH	0-800	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1300	HE
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas, Ecotonos nemorales	BH, BS	0-300(-1200)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas cálidas, Zonas riparias	BH, BS	0-1300(-2100)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-900	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BS	0-1200(-1700)	HD
Bosque costero	Zonas secas	BS	0-800(-1400)	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Primulaceae	<i>Ardisia revoluta</i>	<i>Ardisia multiflora</i>	A	Méx.-NSA.	ECO,IND
Moraceae	<i>Artocarpus altilis</i>		A	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
Apocynaceae	<i>Aspidosperma desmanthum</i>	<i>Aspidosperma cruentum</i>	A	Bel.-SA.	IND
Arecaceae	<i>Asterogyne martiana</i>	<i>Geonoma martiana</i>	AR	Bel.-SA.	IND
Arecaceae	<i>Astrocaryum alatum</i>		A	Hond.-Pan.	ECO,IND,SAF
Arecaceae	<i>Astrocaryum confertum</i>	<i>Astrocaryum polystachyum</i>	A	CR.-Pan.	ECO,IND,SAF
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	<i>Astronium conzattii</i>	A	Méx.-SA.	IND,SAF
Arecaceae	<i>Attalea butyracea</i>	<i>Scheelea rostrata</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Oxalidaceae	<i>Averrhoa bilimbi</i>		A	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
Avicenniaceae	<i>Avicennia bicolor</i>		A	Méx.-NSA.	ECO,IND
Avicenniaceae	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Avicennia africana</i>	A	SNA.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND
Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i>	<i>Bactris utilis</i>	A	Guat.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Arecaceae	<i>Bactris guineensis</i>	<i>Bactris minor</i>	AR	Nic.-NSA.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Banara guianensis</i>		A	Nic.-SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Bauhinia unguolata</i>	<i>Bauhinia inermis</i>	AR	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Melastomataceae	<i>Bellucia pentamera</i>	<i>Bellucia costaricensis</i>	AR	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
Malvaceae	<i>Bemoullia flammea</i>		A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i>		AR	SNA.-SA. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Sapindaceae	<i>Blighia sapida</i>		A	Cultivada en los trópicos	IND,SAF
Papaveraceae	<i>Bocconia frutescens</i>	<i>Bocconia sinuatifolia</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i>		AR	Cultivada en los trópicos	IND,SAF
Acanthaceae	<i>Bravaisia integerrima</i>	<i>Amasonia integerrima</i>	A	Méx.-SA	ECO,IND
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Brosimum guianense</i>	<i>Brosimum panamense</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Brosimum lactescens</i>	<i>Brosimum belizense</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Scrophulariaceae	<i>Buddleja nitida</i>		A	Méx.-Pan.	IND,SAF
Burseraceae	<i>Bursera graveolens</i>		A	Méx.-SA	ECO,IND,SAF
Burseraceae	<i>Bursera permolis</i>		A	Guat.-CR.	SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario, Bosque de galería	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-2200	HE
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-800	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BMH	0-1000(-1400)	ES
Bosque anegado	Zonas palustres	BH, BMH	0-400(-1000)	HD
Bosque secundario y maduro	Llanos	BH, BMH	0-400	EP
Bosque secundario, Sabanas	Yermos, Suelos calizos	BH, BS	0-1300(-2000)	HD
Bosque secundario, Sabanas, Yermos	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-400	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-200	HD
Bosque estuarino, Bosque costero, Manglar	Litoral arenoso, Zonas palustres	BMH, BS	0-10(-100)	HD
Bosque estuarino, Bosque costero, Manglar	Litoral arenoso, Zonas palustres	BMH, BS	0-10(-60)	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-400(-1000)	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-300	HE
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1700	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas	BH, BS	0-900(-1400)	HE
Bosque secundario	Ecotonos nemorales	BH, BMH	0-1100(-1500)	HE
Bosque secundario y maduro, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1000	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1200(-3800)	HE
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque secundario, Tacotal	Laderas, Yermos	BH, BMH, BP, BSA	0-3300	HE
Plantaciones, Adventicio	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HE
Bosque secundario y costero	Amplio	BH, BMH, BS	0-1250	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1100(-1900)	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1100	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-700(-1400)	EP
Bosque secundario	Montañas altas	BP, BSA	(1000-)1500-3500	HD
Bosque secundario y maduro, Plantaciones	Zonas cálidas y secas	BS	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas rocosas	BS	600-1100(-1700)	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	<i>Bursera gummifera</i>	A	SNA-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>		AR	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Cajanus cajan</i>		AR	Cultivada de SNA.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Icacinaceae	<i>Calatola costaricensis</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Calliandra calothyrsus</i>	<i>Calliandra confusa</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i>	<i>Calophyllum rekoii</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	<i>Macrocneum candidissimum</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Myrtaceae	<i>Calyptanthes chytraculia</i>	<i>Myrtus chytraculia</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	IND
Arecaceae	<i>Calyptrogyne ghiesbreghtiana</i>	<i>Geonoma ghiesbreghtiana</i>	AR	Guat.-Pan.	ECO,IND
Capparaceae	<i>Capparis flexuosa</i>	<i>Capparis cynophallophora</i>	AR	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i>		A	Hond.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Meliaceae	<i>Carapa nicaraguensis</i>		A	Nic-SA	ECO,IND,SAF
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>		AR	SNA.-SA., las Ant. y Áfr.	IND
Cyclanthaceae	<i>Carludovica palmata</i>	<i>Carludovica gigantea</i>	AR	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Casearia arborea</i>	<i>Casearia stipularis</i>	A	Guat.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Casearia corymbosa</i>	<i>Samyda nitida</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Samyda sylvestris</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Casearia tremula</i>	<i>Zuelania tremula</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i>		A	Méx.-NSA	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Cassia grandis</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Castilla elastica</i>		A	Méx.-SA.	ECO,IND
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	<i>Cecropia mexicana</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Cedrela mexicana</i>	A	Méx.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Meliaceae	<i>Cedrela salvadorensis</i>	<i>Cedrela poblensis</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Meliaceae	<i>Cedrela tonduzii</i>	<i>Cedrela pacayana</i>	A	Méx.-Pan.	IND

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1200(-1900)	HD
Bosque secundario, Sabanas arcillosas	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HD
Plantaciones, Adventicio, Yermos	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1600	HE
Plantaciones, Adventicio, Naturalizado	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1900	HE
Bosque secundario y maduro	Laderas, Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-2400	EP
Bosque secundario, Adventicio	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1900	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1000(-1800)	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1400)	HD
Bosque maduro	Zonas riparias y palustres	BH, BMH	0-900(-1700)	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1100	EP
Bosque costero, Manglar	Zonas cálidas y secas	BS	0-1000	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias, Zonas palustres	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias, Zonas palustres	BH, BMH	0-400	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas	BH, BMH, BS	0-800(-1800)	HE
Bosque secundario, Bosque de galería, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1250(-1750)	HE
Bosque pionero, Tacotal	Ecotonos nemorales, Yermos	BH, BMH, BP	0-1600	HE
Bosque secundario, Bosque de galería	Llanos, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1600	HD
Bosque secundario, Bosque de galería, Tacotal	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas, Suelos pedregosos	BH, BS	0-800(-1600)	EP
Bosque secundario y maduro, Plantaciones	Zonas riparias, Suelos orgánicos	BH, BP	500-2200	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Bosque secundario	Llanos	BH, BMH, BS	0-1200	HD
Bosque pionero, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BP	0-2000	HE
Bosque pionero, Tacotal	Yermos	BH, BS	0-1200(-1600)	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1300(-2100)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Laderas, Zonas riparias	BH, BS	100-1300(-1900)	HS
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BMH, BP	(900-)1100-2200	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>		A	Méx. -SA. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Cannabaceae	<i>Celtis schippii</i>	<i>Celtis ferarum</i>	A	Hond. -SA.	IND
Ochnaceae	<i>Cespedesia spathulata</i>	<i>Cespedesia macrophylla</i>	A	Hond. -SA.	ECO,IND,SAF
Areaceae	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	<i>Chamaedorea exorrhiza</i>	AR	Méx. -NSA.	ECO,IND,SAF
Rubiaceae	<i>Chomelia spinosa</i>	<i>Chomelia filipes</i>	A	Méx. -SA	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Christiana africana</i>		A	Pantropical	IND,SAF
Rosaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>		AR	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	<i>Chrysophyllum jamaicens</i>	A	Cultivada de Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Verbenaceae	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	<i>Citharexylum ghiesbreghtii</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Clarisia biflora</i>	<i>Clarisia panamensis</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Clarisia mexicana</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Clethraceae	<i>Clethra costaricensis</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND
Clethraceae	<i>Clethra suaveolens</i>	<i>Clethra glaberrima</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND
Pentaphylacaceae	<i>Cleyera theaeoides</i>	<i>Cleyera revoluta</i>	A	Méx. -CA. y las Ant.	IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	<i>Cnidoscolus chayamansa</i>	AR	Méx. -CA.	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus tubulosus</i>	<i>Jatropha tubulosa</i>	AR	Méx. -SA.	IND
Polygonaceae	<i>Coccoloba caracasana</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	<i>Cochlospermum hibiscoides</i>	A	Méx. -SA.	IND,SAF
Areaceae	<i>Cocos nucifera</i>		A	Pantropical	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Cojoba arborea</i>	<i>Pithecellobium arboreum</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND
Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i>	<i>Colubrina ferruginosa</i>	A	SNA. -SA. y las Ant.	IND,SAF
Rhamnaceae	<i>Colubrina spinosa</i>	<i>Colubrina panamensis</i>	A	Nic. -SA.	ECO,IND
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i>		A	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND
Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i>	<i>Conostegia minutiflora</i>	A	Méx. -NSA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	IND,SAF
Boraginaceae	<i>Cordia bicolor</i>	<i>Cordia belizensis</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	IND
Boraginaceae	<i>Cordia collococca</i>	<i>Cordia glabra</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1500	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-600	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1600	EP
Bosque pionero, Tacotal	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario	Suelos arcillosos	BH, BMH	0-400	HD
Bosque costero	Litoral arenoso	BH, BMH, BS	0-100(-800)	HE
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000(-1700)	HD
Bosque secundario, Plantaciones	Elevaciones medias, Montañas altas	BH, BP	1000-2700	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas	BH, BMH, BS	0-1300	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1100(-2500)	EP
Bosque secundario	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH, BP	100-1800	HD
Bosque secundario	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BP, BSA	1400-3000	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BP, BSA	(900-)1500-3200	HD
Adventicio	Amplio	BH, BS	0-1000(-1300)	HE
Ecotonos nemorales	Yermos, Suelos calizos	BH	0-1300	HE
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias, Zonas palustres	BH, BS	0-1100	HD
Bosque costero, Bosque de galería	Litoral arenoso, Zonas riparias, Zonas palustres	BMH	0-50(-400)	HD
Bosque secundario, sabanas	Yermos	BH, BS	0-1000(-1900)	HE
Bosque costero, Adventicio, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH, BP	0-2500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1500)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH	0-1000(-1500)	HE
Bosque costero, Manglar	Litoral arenoso	BH, BMH, BS	0-50(-100)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Yermos	BH, BMH, BP	0-2000	HE
Bosque secundario, Tacotal	Llanos, Lomas	BH, BMH, BS	0-1300(-1500)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BMH	0-800(-1200)	HD
Bosque secundario, Adventicio, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1200	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Boraginaceae	<i>Cordia dentata</i>	<i>Cordia alba</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	IND,SAF
Boraginaceae	<i>Cordia eriostigma</i>		A	Méx.-NSA.	ECO,IND,SAF
Boraginaceae	<i>Cordia gerascanthus</i>	<i>Cordia bracteata</i>	A	Méx.-NSA. y las Ant.	IND,SAF
Boraginaceae	<i>Cordia megalantha</i>	<i>Cordia macrantha</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i>	<i>Cornus floccosa</i>	A	Méx.-Pan.	IND
Chrysobalanaceae	<i>Couepia polyandra</i>	<i>Hirtella polyandra</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Couleria platyloba</i>	<i>Caesalpinia platyloba</i>	A	Méx.-CR.	ECO,IND,SAF
Apocynaceae	<i>Couma macrocarpa</i>	<i>Couma guatemalensis</i>	A	Guat.-SA.	ECO,IND,SAF
Capparaceae	<i>Crateva tapia</i>	<i>Crateva glauca</i>	A	Méx.-SA.	IND,SAF
Bignoniaceae	<i>Crescentia alata</i>	<i>Crescentia ternata</i>	A	Méx.-CR.	IND,SAF
Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i>	<i>Crescentia acuminata</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	IND,SAF
Fabaceae	<i>Crotalaria pallida</i>		AR	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Croton billbergianus</i>	<i>Croton pyramidalis</i>	A	Méx.-NSA.	ECO,IND
Euphorbiaceae	<i>Croton draco</i>	<i>Croton steyermarkianus</i>	A	Méx.-NSA.	ECO,IND
Euphorbiaceae	<i>Croton niveus</i>	<i>Croton guatemalensis</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Croton punctatus</i>	<i>Croton maritimus</i>	H	SNA.-SA. y las Ant.	ECO
Euphorbiaceae	<i>Croton schiedeanus</i>	<i>Croton perobtus</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND
Euphorbiaceae	<i>Croton xalapensis</i>	<i>Croton pseudoxalapensis</i>	AR	Méx.-CR.	ECO,IND
Euphorbiaceae	<i>Croton yucatanensis</i>		AR	Méx.-CR.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Crudia glaberrima</i>	<i>Hirtella glaberrima</i>	AR	Nic.-SA	ECO,IND
Arecaceae	<i>Cryosophila warscewiczii</i>	<i>Cryosophila albida</i>	AR	Nic.-Pan.	ECO,IND,SAF
Sapindaceae	<i>Cupania glabra</i>	<i>Cupania excelsa</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Sapindaceae	<i>Cupania guatemalensis</i>		A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Dalbergia glomerata</i>	<i>Dalbergia tucurensis</i>	A	Méx.-CR.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Dalbergia retusa</i>	<i>Dalbergia lineata</i>	A	Méx.-NSA.	ECO,IND,SAF
Solanaceae	<i>Datura suaveolens</i>	<i>Brugmansia suaveolens</i>	AR	Méx.-SA., las Ant. y Áfr.	IND,SAF
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	<i>Dendropanax compactus</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	IND

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario, Tacotal	Zonas secas	BS	0-900(-1600)	HD
Bosque secundario, Adventicio, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1700	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro	Suelos aluviales, Zonas riparias	BH, BMH	0-700(-1400)	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BP, BSA	1100-3000	HD
Bosque secundario, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000	HD
Bosque costero	Zonas cálidas y secas, Litoral arenoso	BS	0-500(-1600)	HD
Bosque secundario y maduro	Llanos, Suelos bien drenados	BH, BMH	0-400	EP
Bosque secundario	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1200(-1500)	HD
Bosque secundario, Sabanas	Llanos	BH, BS	0-1000(-1900)	HD
Bosque secundario, Sabanas	Llanos, Yermos	BH, BS	0-1200(-1600)	HD
Yermos, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200(-1500)	HE
Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH	0-1200	HE
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BP, BS	100-2200	HE
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-1700	HE
Bosque costero	Litoral arenoso	BH, BMH	0-100(-400)	HE
Bosque secundario	Suelos arcillosos	BH, BMH, BS	0-1200(-1700)	HE
Bosque secundario	Laderas rocosas	BH, BMH	100-2500	HE
Bosque secundario	Zonas secas	BS	0-700	HE
Bosque estuarino, Manglar	Estuarios	BH, BMH	0-50	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200	EP
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH, BP, BS	0-1600	HD
Bosque secundario, Tacotal	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HD
Bosque secundario, Sabanas	Suelos arcillosos	BH, BS	0-1200(-1600)	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1250	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas secas y de transición a húmedas	BH, BS	0-700(-1600)	HD
Bosque secundario	Ecotonos nemorales	BMH, BP	(0-)700-1900	HE
Bosque secundario	Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-2500	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Fabaceae	<i>Dialium guianense</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND
Sapindaceae	<i>Dilodendron costaricense</i>	<i>Dipterodendron costaricense</i>	A	CR. -NSA	ECO,IND,SAF
Ebenaceae	<i>Diospyros digyna</i>	<i>Diospyros obtusifolia</i>	A	SNA. -SA.	ECO,IND,SAF
Ebenaceae	<i>Diospyros salicifolia</i>	<i>Diospyros nicaraguensis</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Diphysa americana</i>	<i>Diphysa robinoides</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>		AR	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Winteraceae	<i>Drimys granadensis</i>	<i>Drimys winteri</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Boraginaceae	<i>Ehretia latifolia</i>	<i>Ehretia cordifolia</i>	A	Méx. -Pan.	IND,SAF
Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Mimosa cyclocarpa</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Passifloraceae	<i>Erblichia odorata</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>		AR	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Erythrina berteriana</i>	<i>Erythrina neglecta</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Erythrina fusca</i>	<i>Erythrina glauca</i>	A	CA. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum havanense</i>	<i>Erythroxylum mexicanum</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum macrophyllum</i>	<i>Erythroxylum lucidum</i>	A	Méx. -SA.	IND,SAF
Arecaceae	<i>Euterpe precatoria</i>	<i>Euterpe macrospadix</i>	A	Hond. -SA.	ECO,IND,SAF
Rubiaceae	<i>Exostema caribaeum</i>	<i>Exostema longicuspe</i>	A	Méx. -CR. y las Ant.	IND,SAF
Rubiaceae	<i>Exostema mexicanum</i>		A	Méx. -Pan.	ECO,IND
Moraceae	<i>Ficus americana</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Moraceae	<i>Ficus colubrinae</i>		A	Méx. -NSA.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Ficus costaricana</i>	<i>Ficus kellermanii</i>	A	Méx. -NSA.	ECO,SAF
Moraceae	<i>Ficus cotinifolia</i>	<i>Ficus glauca</i>	A	Méx. -CR.	ECO
Moraceae	<i>Ficus goldmanii</i>		A	Méx. -Pan.	ECO,SAF
Moraceae	<i>Ficus insipida</i>	<i>Ficus glabrata</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Moraceae	<i>Ficus maxima</i>	<i>Ficus mexicana</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Moraceae	<i>Ficus morazaniana</i>		A	Méx. -CR.	ECO,SAF
Moraceae	<i>Ficus nymphaeifolia</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro	Llanos	BH, BMH	0-1000	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas secas y de transición a húmedas	BH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas secas y de transición a húmedas	BH, BMH, BS	0-1200	EP
Bosque secundario, Bosque de galería, Sabanas	Yermos, Zonas riparias	BH, BS	0-1100(-1400)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas secas y de transición a húmedas	BH, BS	0-1200(-2100)	HD
Ecotonos boscosos, Litorales arenosos, Montañas altas	Amplio	BH, BMH, BP, BSA	0-3000	HE
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BP, BSA	(1000-)1500-3300	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BH, BP	800-2600	HD
Bosque secundario y maduro	Llanos	BH, BMH, BS	0-1300	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias, Suelos pedregosos	BH, BS	0-1300	HD
Plantaciones, Adventicio	Montañas altas	BH, BP	(0-)300-2000	HE
Bosque secundario, Tacotal, Plantaciones	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HE
Bosque secundario, Plantaciones	Zonas palustres y riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1600	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1900	EP
Bosques costeros	Pendientes rocosas, Suelos calizos	BH, BS	0-900(-1800)	HD
Bosque secundario y maduro, Bosque de galería	Pendientes rocosas, Zonas riparias	BH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200(-1800)	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1700	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HD
Bosque secundario y maduro	Saxícola	BH, BS	0-1200(-1700)	HD
Ecotonos nemorales, Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000	HD
Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1300(-1900)	HD
Bosque inundado	Zonas palustres	BH, BMH, BP, BS	0-1500(-2500)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-700	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Moraceae	<i>Ficus obtusifolia</i>	<i>Ficus chiapensis</i>	A	Méx.-SA.	ECO,SAF
Moraceae	<i>Ficus pertusa</i>	<i>Ficus liebmanniana</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,SAF
Moraceae	<i>Ficus yoponensis</i>		A	Méx.-SA.	ECO,IND
Onagraceae	<i>Fuchsia paniculata</i>		AR	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Malpighiaceae	<i>Galphimia glauca</i>		AR	Méx.-Nic. Cultivada en CR.	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Garcia nutans</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Clusiaceae	<i>Garcinia intermedia</i>	<i>Rheedea intermedia</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	<i>Genipa caruto</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Arecaceae	<i>Geonoma congesta</i>	<i>Geonoma calyptrogynoides</i>	AR	Hond.-NSA.	ECO,IND
Arecaceae	<i>Geonoma deversa</i>	<i>Geonoma longepetiolata</i>	AR	Nic.-SA	IND
Arecaceae	<i>Geonoma interrupta</i>	<i>Geonoma mexicana</i>	AR	Méx.-SA.	IND
Fabaceae	<i>Gilicidia sepium</i>	<i>Robinia sepium</i>	A	SNA.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Bignoniaceae	<i>Godmania aesculifolia</i>	<i>Tabebuia aesculifolia</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Goethalsia meiantha</i>		A	Nic.-SA-	ECO,IND,SAF
Zygophyllaceae	<i>Guaiacum sanctum</i>		A	SNA.-SA. y las Ant.	IND
Meliaceae	<i>Guarea glabra</i>	<i>Guarea excelsa</i>	A	CA.-SA. y las Ant.	ECO
Meliaceae	<i>Guarea grandifolia</i>	<i>Guarea pittieri</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Rubiaceae	<i>Guettarda macrosperma</i>		A	Guat.-Pan.	ECO,IND,SAF
Poaceae	<i>Gynerium sagittatum</i>	<i>Gynerium saccharoides</i>	H	SNA.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Hernandiaceae	<i>Gyrocarpus jatrophifolius</i>		A	Méx.-CR.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	<i>Haematoxylum boreale</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Hampea appendiculata</i>		A	Hond.-Pan.	ECO,IND
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	<i>Tabebuia chrysantha</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	A	Méx.-SA.	IND,SAF
Bignoniaceae	<i>Handroanthus ochraceus</i>	<i>Tabebuia ochracea</i>	A	Guat.-SA.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Hasseltia floribunda</i>	<i>Hasseltia micrantha</i>	A	Hond.-SA.	ECO,IND,SAF
Onagraceae	<i>Hauya elegans</i>		A	Méx.-CR.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1200(-1500)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-2300	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH, BP, BS	0-1500	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BMH, BP, BSA	1600-3400	HE
Bosque secundario, Plantaciones, Adventicio	Amplio	BH, BMH, BP, BSA, BS	1000-3000	HE
Rodales naturales	Zonas cálidas y secas, Zonas riparias	BH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1300(-1800)	EP
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas, Suelos arcillosos	BH, BMH	0-1000	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-2200	ES
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1200(-1400)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Llanos	BH, BMH, BP	0-1400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BS	0-800(-1700)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BSA, BS	0-2800	HD
Bosque secundario y maduro	Relieve ondulado, Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-1400	ES
Bosque secundario, Tacotal, Yermos	Llanos	BH, BMH, BP, BS	0-2000(-3100)	HD
Bosque secundario, Tacotal, Yermos	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1000(-1500)	HD
Bosque secundario, Tacotal, Yermos	Zonas riparias, Litoral arenoso	BH, BMH, BP, BS	0-1900	HE
Bosque secundario, Bosque de galería	Laderas, Zonas riparias	BH, BS	0-1300	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1900)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Suelos aluviales, Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-1800	HE
Bosque secundario	Laderas	BH, BMH, BS	0-1200(-1400)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BS	0-1200(-1400)	HD
Bosque secundario, Sabanas	Zonas cálidas	BH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-1600	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BP	(250-)1000-2600	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum mexicanum</i>	<i>Hedyosmum artocarpus</i>	AR	Méx. -NSA.	ECO,IND
Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND
Malvaceae	<i>Herrania purpurea</i>		AR	Nic. -NSA.	ECO,IND,SAF
Phyllanthaceae	<i>Hieronyma alchomeoides</i>	<i>Hieronyma laxiflora</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Hippomane mancinella</i>		A	SNA. -SA.	ECO,IND
Tapisciaceae	<i>Huerteia cubensis</i>		A	Méx. -CR. y las Ant.	IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Hura crepitans</i>	<i>Hura strepens</i>	A	Nic. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Indigofera suffruticosa</i>	<i>Indigofera anil</i>	AR	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga densiflora</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga inicuil</i>	<i>Inga paterno</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga laurina</i>	<i>Inga fagifolia</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga leiocalycina</i>	<i>Inga yunckeri</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga marginata</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga oerstedia</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga punctata</i>	<i>Inga leptoloba</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga ruiziana</i>	<i>Inga fagifolia</i>	A	Nic. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga samanensis</i>	<i>Inga squamigera</i>	A	Nic. -NSA.	ECO,SAF
Fabaceae	<i>Inga sapindoides</i>	<i>Inga rodrigueziana</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga thibaudiana</i>	<i>Inga recordii</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Inga vera</i>	<i>Inga spuria</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	<i>Iriartea gigantea</i>	A	Nic. -SA.	ECO,IND
Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>	<i>Bignonia copaia</i>	A	Guat. -SA.	IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Jatropha yucatanensis</i>	AR	Pantropical	IND,SAF
Juglandaceae	<i>Juglans olanchana</i>	<i>Juglans guatemalensis</i>	A	Méx. -CR.	IND,SAF
Rhamnaceae	<i>Karwinskia calderonii</i>		A	Méx. -CR.	IND
Rhamnaceae	<i>Krugiodendron ferreum</i>		A	Méx. -CR. y las Ant.	IND

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BP, BSA	(700-)1400-3200	HE
Bosque secundario, Tacotal	Suelos aluviales, Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-2000	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-900	HE
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH	0-1000(-1700)	HD
Bosque costero	Litoral arenoso, Zonas palustres	BH, BMH, BS	0-200	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas, Montañas altas	BH, BMH, BP	200-1400	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BS	0-1200	HD
Yermos, Tacotal, Litoral arenoso	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2300	HE
Bosque secundario y maduro, Tacotal	Amplio	BH, BMH, BP	100-1900	HD
Ecotonos nemorales, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000(-1750)	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales, Zonas riparias	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-2400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200(-2200)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200(-2100)	EP
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-2100	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas, Yermos, Zonas palustres	BH, BMH, BP	0-2000	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BMH, BP	0-1500	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BMH	0-1100(-1400)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HD
Bosque secundario y maduro	Suelos arcillosos	BH, BMH	0-1000(-1400)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BMH	0-1000	EP
Bosques secundarios	Relieve ondulado	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque secundario, Yermos	Zonas cálidas	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HE
Bosques secundarios, Plantaciones, Adventicio	Amplio	BH, BP, BS	0-1500	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1800)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas	BH, BS	0-1200(-1600)	ES

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Lacistemataceae	<i>Lacistema aggregatum</i>	<i>Lacistema elongatum</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Apocynaceae	<i>Lacmellea panamensis</i>		A	Bel.-Pan	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Laetia procera</i>	<i>Laetia casearioides</i>	A	Guat. -SA.	ECO,IND,SAF
Lythraceae	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	<i>Lafoensia mexicana</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND
Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Conocarpus racemosus</i>	A	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Leptolobium panamense</i>	<i>Acosmium panamense</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Leucaena glauca</i>	A	SNA. -SA. y Asia.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Libidibia coriaria</i>	<i>Caesalpinia coriaria</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Chrysobalanaceae	<i>Licania arborea</i>	<i>Licania bullatifolia</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Chrysobalanaceae	<i>Licania platypus</i>	<i>Moquilea platypus</i>	A	Méx. -NSA	ECO,IND
Achariaceae	<i>Lindackeria laurina</i>	<i>Mayna laurina</i>	A	Méx. -SA.	IND
Altingiaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Liquidambar barbata</i>	A	Méx. -Nic. Cultivada en CR.	IND,SAF
Fabaceae	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	<i>Lonchocarpus megalanthus</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Lonchocarpus rugosus</i>	<i>Lonchocarpus apricus</i>	A	Méx. -NSA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Luehea seemannii</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND
Malvaceae	<i>Luehea speciosa</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	IND
Fabaceae	<i>Lysiloma auritum</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Lysiloma divaricatum</i>	<i>Lysiloma chiapense</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	<i>Lysiloma bahamense</i>	A	SNA. -Guat.	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Mabea occidentalis</i>	<i>Mabea belizensis</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Machaerium biovulatum</i>	<i>Machaerium lilacinum</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i>	<i>Chlorophora tinctoria</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Macrohasseltia macroterantha</i>	<i>Hasseltia macroterantha</i>	A	Hond. -Pan.	IND,SAF
Magnoliaceae	<i>Magnolia sororum</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	<i>Malpighia puniceifolia</i>	AR	Méx. -CA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Malvaviscus arboreus</i>		A	SNA. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Yermos, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BMH	0-900	EP
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Yermos, Zonas riparias	BH, BMH	0-400(-1000)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas	BH, BS	0-1100	EP
Bosque costero, Manglar	Litoral arenoso	BH, BMH, BS	0-50(-100)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas	BH, BS	0-1200(-1800)	HD
Bosque secundario, Adventicio	Ecotonos nemorales, Yermos	BH, BS	0-1300(-1800)	HD
Bosque costero	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-700(-1400)	HD
Bosque secundario, Yermos	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario, Adventicio	Llanos	BH, BMH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000	EP
Bosque secundario y maduro, Plantaciones	Montañas altas	BP	(400-)1000-2500	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas, suelos rocosos	BH, BMH, BS	0-1300(-1500)	HD
Bosque secundario y maduro, Bosque de galería	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1300(-1500)	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH, BS	0-1200(-1800)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1000(-1400)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Llanos, Zonas palustres	BH, BMH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y secas	BH, BP, BS	0-1400(-1900)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1300(-1500)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Laderas, Suelos pedregosos	BH, BS	0-1300(-2000)	HD
Bosque secundario y maduro, Plantaciones	Suelos profundos	BS	0-400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas palustres y riparias	BH, BMH	0-1100(-1400)	EP
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1300	HD
Bosque secundario, Sabanas	Zonas cálidas	BH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BH, BP	(100-)500-1700	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BH, BP, BSA	(250-)1000-2800	HD
Bosque secundario, Tacotal, Adventicio	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HE
Bosque secundario, Adventicio, Plantaciones	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2500	HE

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
<i>Calophyllaceae</i>	<i>Mammea americana</i>		A	Cultivada en los trópicos	IND,SAF
<i>Arecaceae</i>	<i>Manicaria saccifera</i>	<i>Manicaria atricha</i>	A	Nic.-SA	IND
<i>Sapotaceae</i>	<i>Manilkara chicle</i>	<i>Achras chicle</i>	A	Méx.-NSA.	ECO,IND,SAF
<i>Sapotaceae</i>	<i>Manilkara zapota</i>	<i>Achras zapota</i>	A	Méx.-CA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Phyllanthaceae</i>	<i>Margaritaria nobilis</i>	<i>Phyllanthus nobilis</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Sapindaceae</i>	<i>Melicoccus bijugatus</i>	<i>Melicocca bijuga</i>	A	Cultivada de Méx.-NSA	ECO,IND,SAF
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia affinis</i>	<i>Miconia microcarpa</i>	AR	Méx.-SA.	ECO,IND
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia argentea</i>	<i>Miconia procera</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia chamissois</i>	<i>Miconia panamensis</i>	AR	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia hondurensis</i>	<i>Miconia gatunensis</i>	A	Méx.-Pan.	ECO
<i>Celastraceae</i>	<i>Microtropis occidentalis</i>	<i>Quetzalia occidentalis</i>	A	Méx.-Pan.	IND
<i>Fabaceae</i>	<i>Mimosa pigra</i>	<i>Mimosa asperata</i>	AR	Pantropical	ECO,IND,SAF
<i>Coulaceae</i>	<i>Minquartia guianensis</i>		AR	Nic.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Mora oleifera</i>	<i>Dimorphandra oleifera</i>	AR	CR-NSA	ECO,IND
<i>Myricaceae</i>	<i>Morella cerifera</i>	<i>Myrica cerifera</i>	AR	SNA.-NSA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Moringaceae</i>	<i>Moringa oleifera</i>		A	Cultivada de Méx.-NSA	IND,SAF
<i>Melastomataceae</i>	<i>Mouriri gleasoniana</i>		A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Melastomataceae</i>	<i>Mouriri myrtilloides</i>		A	Méx.-SA.	ECO,IND
<i>Muntingiaceae</i>	<i>Muntingia calabura</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Myrtaceae</i>	<i>Myrcia splendens</i>	<i>Myrcia longicaudata</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Myrospermum frutescens</i>	<i>Myroxylon frutescens</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Myroxylon balsamum</i>	<i>Myrospermum toluiferum</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Lauraceae</i>	<i>Nectandra membranacea</i>	<i>Nectandra skutchii</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Lauraceae</i>	<i>Nectandra reticulata</i>		A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Malvaceae</i>	<i>Ochroma pyramidale</i>	<i>Ochroma lagopus</i>	A	Méx.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND
<i>Lauraceae</i>	<i>Ocotea austinii</i>	<i>Ocotea irazuensis</i>	A	Hond.-Pan.	ECO,IND
<i>Lauraceae</i>	<i>Ocotea veraguensis</i>	<i>Ocotea paradoxa</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND
<i>Malvaceae</i>	<i>Pachira aquatica</i>		A	SNA.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Malvaceae</i>	<i>Pachira quinata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	A	Hond.-SA.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Plantaciones, Adventicio	Amplio	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque anegado, Yolillal, Tagual	Zonas palustres, Zonas riparias	BMH	0-550	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Laderas, Zonas riparias	BH, BS	0-1300	HD
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Plantaciones, Adventicio, Naturalizado	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos, Ecotonos nemorales	BH, BMH, BP	0-1600	HE
Bosque secundario, Tacotal	Yermos, Ecotonos nemorales	BH, BMH, BS	0-1200	HE
Ecotonos nemorales, Zonas riparias, Zonas palustres	Llanos	BH, BMH	0-1100	HE
Bosque secundario, Tacotal	Yermos, Ecotonos nemorales	BH, BMH	0-1000	HE
Bosque maduro	Montañas altas	BP	1000-2700	ES
Yermos	Litoral arenoso, Zonas riparias, Zonas palustres	BH, BMH, BP	0-2600	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-600	EP
Bosque estuarino, Manglar	Estuarios	BH, BMH	0-100	ES
Bosque secundario, Ecotonos nemorales, Yermos	Montañas altas	BH, BP, BSA	(0-)800-3000	HE
Plantaciones, Adventicio	Zonas secas	BS	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMF	0-1300	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-700(-1700)	EP
Bosque secundario, Tacotal	Suelos arenosos	BH, BMH, BS	0-1200(-2000)	ED
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas	BH, BS	0-1000(-1400)	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH	0-1000(-1400)	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-2000	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BS	0-1200(-1500)	HE
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BH, BP, BSA	1000-2800	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BP, BS	0-1600	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1000	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
<i>Fabaceae</i>	<i>Parkinsonia aculeata</i>		A	SNA. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Tetrameristaceae</i>	<i>Pelliciera rhizophorae</i>		A	Nic.-SA	ECO,IND
<i>Fabaceae</i>	<i>Pentaclethra macroloba</i>		A	Nic.-SA.	ECO,IND,SAF
<i>Lauraceae</i>	<i>Persea americana</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Lauraceae</i>	<i>Persea schiedeana</i>	<i>Persea pittieri</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
<i>Phyllanthaceae</i>	<i>Phyllanthus acuminatus</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	IND,SAF
<i>Simaroubaceae</i>	<i>Picramnia antidesma</i>	<i>Picramnia triandra</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Myrtaceae</i>	<i>Pimenta dioica</i>	<i>Pimenta officinalis</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Pinaceae</i>	<i>Pinus caribaea</i>		A	Méx. -Nic. y las Ant.	IND
<i>Pinaceae</i>	<i>Pinus oocarpa</i>		A	Méx. -Nic.	ECO,IND,SAF
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper auritum</i>		AR	SNA. -SA.	ECO
<i>Piperaceae</i>	<i>Piper tuberculatum</i>		AR	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Piscidia carthagenensis</i>	<i>Piscidia acuminata</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Mimosa dulcis</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>		A	Méx. -CR. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Salicaceae</i>	<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	<i>Pleuranthodendron mexicanum</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Apocynaceae</i>	<i>Plumeria rubra</i>	<i>Plumeria mexicana</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND
<i>Podocarpaceae</i>	<i>Podocarpus guatemalensis</i>	<i>Podocarpus allenii</i>	A	Méx. -SA.	IND,SAF
<i>Podocarpaceae</i>	<i>Podocarpus oleifolius</i>	<i>Podocarpus macrostachys</i>	A	Méx. -SA.	IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Poincianella eriostachys</i>	<i>Caesalpinia eryostachys</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Poincianella exostemma</i>	<i>Caesalpinia exostemma</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
<i>Rubiaceae</i>	<i>Posoqueria latifolia</i>	<i>Posoqueria insignis</i>	A	Méx. -SA. y Áfr.	ECO,IND,SAF
<i>Moraceae</i>	<i>Poulsenia armata</i>	<i>Poulsenia aculeata</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Sapotaceae</i>	<i>Pouteria campechiana</i>	<i>Pouteria glabrifolia</i>	A	Méx. -Pan. y las Ant.	ECO, IND
<i>Sapotaceae</i>	<i>Pouteria sapota</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Prioria copaifera</i>		A	Nic. -NSA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Prosopis juliflora</i>	<i>Prosopis bracteolata</i>	A	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BS	0-1100(-1900)	HE
Bosque estuarino, Manglar	Estuarios	BH, BMH, BS	0-50(-300)	HD
Bosque secundario e inundado	Zonas palustres	BH, BMH	100-400	HD
Bosque secundario y maduro, Plantaciones	Amplio	BH, BMH, BP, BSA, BS	0-2800	HD
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BH, BMH, BSA, BP	500-2800	EP
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1500	HE
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HE
Plantaciones, Adventicio, Naturalizado	Amplio	BH, BMH, BP	0-2000	HD
Pinares, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1100	HD
Pinares, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas, Montañas altas	BH, BMH, BP, BSA	(200-)1200-3200	HD
Bosque secundario, Tacotal	Llanos, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HE
Bosque secundario, Ecotonos nemorales, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1100	HE
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas, Zonas riparias, Suelos pedregosos	BH, BS	0-800(-1200)	HD
Bosque secundario, Adventicio, Yermos	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1600)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000(-1700)	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1500	EP
Bosque secundario, Bosque de galería	Laderas, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HD
Bosque secundario, Yermos	Laderas rocosas	BH, BS	0-1400(-1800)	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas, Suelos bien drenados	BH, BMH, BP	0-2300	EP
Bosque secundario y maduro	Montañas altas	BP, BSA	(100-)1400-3000	EP
Bosque secundario	Llanos	BH, BS	0-700	HD
Bosque secundario	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1000	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1100	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1200	EP
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1200	HD
Catiales, Bosque inundado	Zonas palustres	BH, BMH	0-400	EP
Bosque costero	Zonas cálidas y secas	BS	0-200(-900)	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Moraceae	<i>Pseudolmedia spuria</i>	<i>Pseudolmedia havanensis</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Fabaceae	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	<i>Albizia guachapele</i>	A	Méx. -SA. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Myrtaceae	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>		A	Méx. -NSA.	ECO,IND,SAF
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>		A	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Myrtaceae	<i>Psidium sartorianum</i>	<i>Calyptranthes tonduzii</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Pterocarpus officinalis</i>	<i>Pterocarpus belizensis</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Lythraceae	<i>Punica granatum</i>		AR	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Quararibea funebris</i>	<i>Quararibea guatemalteca</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Simaroubaceae	<i>Quassia amara</i>		AR	Méx. -NSA.	ECO,IND,SAF
Fagaceae	<i>Quercus bumelioides</i>	<i>Quercus copeyensis</i>	AR	Méx. -Pan.	ECO,IND
Fagaceae	<i>Quercus oleoides</i>	<i>Quercus lutescens</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND
Fagaceae	<i>Quercus sapotifolia</i>	<i>Quercus donnell-smithii</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND
Rubiaceae	<i>Randia aculeata</i>	<i>Randia karstenii</i>	AR	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Arecaceae	<i>Raphia taedigera</i>	<i>Raphia nicaraguensis</i>	A	Nic. -SA.	ECO,IND,SAF
Verbenaceae	<i>Rehdera trinervis</i>	<i>Rehdera mollicella</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>		A	SNA. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora racemosa</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i>		AR	Pantropical	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Robinsonella lindeniana</i>		A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
Proteaceae	<i>Roupala montana</i>	<i>Roupala frondosa</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
Salicaceae	<i>Ryania speciosa</i>	<i>Ryania parviflora</i>	A	Nic. -Pan.	ECO,IND,SAF
Arecaceae	<i>Sabal mauritiformis</i>	<i>Sabal nematoclada</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	IND
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Samanea saman</i>	<i>Pithecellobium saman</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	<i>Sapindus stenopterus</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i>	<i>Sapium jamaicense</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND
Annonaceae	<i>Sapranthus palanga</i>		A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
Actinidaceae	<i>Saurauia yasicae</i>	<i>Saurauia belizensis</i>	A	Méx. -NSA	ECO

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro	Laderas, Suelos profundos	BH, BMH, BP	0-2000	ES
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BS	0-1000	HD
Plantaciones, Adventicio, Naturalizado	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1800	HD
Zonas abiertas, Ecotonos nemorales	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1600	HD
Bosque secundario e inundado	Zonas palustres	BH, BMH	0-400	HD
Plantaciones, Adventicio	Amplio	BH, BMH, BP, BS	100-2000	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1300	EP
Bosque secundario y maduro, Plantaciones	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200	HE
Bosque secundario y maduro, Robledales	Montañas altas	BH, BP, BSA	1100-2800	ES
Bosque de encino	Llanos, Suelos calizos	BH, BS	0-1200(-2000)	HD
Bosque secundario y maduro, Robledales	Bosque secundario y maduro, Robledales	BH, BP, BSA	(450-)1000-2700	ES
Zonas abiertas, Ecotonos nemorales	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-2100	HE
Yollilales, Bosque inundado	Zonas palustres	BH, BMH	0-300	HD
Bosque secundario y maduro, Sabanas	Suelos pedregosos	BS	0-1100	HD
Bosque estuarino, Manglar	Estuarios	BH, BMH, BS	0-50(-250)	HD
Bosque estuarino, Manglar	Estuarios	BH, BMH, BS	0-50(-150)	HD
Yermos, Adventicio	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2000(-2400)	HE
Bosque de galería	Zonas riparias, Montañas altas	BH, BMH, BP	0-1400	HS
Bosque secundario y maduro, Sabanas	Ecotonos nemorales, Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-2400	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas riparias	BH, BMH	0-900	HD
Bosque maduro	Zonas marítimas, Zonas riparias	BH, BMH	0-450	ES
Bosques de galería	Zonas riparias, Suelos arenosos	BH, BP, BSA	0-2800	HD
Bosque secundario y maduro	Llanos	BH, BS	0-1300	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Yermos, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1600	HD
Bosque secundario y maduro	Relieve ondulado	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Laderas, Zonas riparias, Yermos	BH, BS	0-900	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas riparias	BH, BMH, BP	50-2500	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
<i>Araliaceae</i>	<i>Schefflera morototoni</i>	<i>Didymopanax morototoni</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	IND
<i>Fabaceae</i>	<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Cassia parahyba</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Araliaceae</i>	<i>Sciadodendron excelsum</i>		A	Guat. -NSA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Celastraceae</i>	<i>Semialarium mexicanum</i>	<i>Hemiangium excelsum</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Senna atomaria</i>	<i>Cassia emarginata</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Senna skinneri</i>	<i>Cassia skinneri</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Senna spectabilis</i>	<i>Cassia spectabilis</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Sapotaceae</i>	<i>Sideroxylon capiri</i>	<i>Mastichodendron capiri</i>	A	Méx. -Pan. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Simaroubaceae</i>	<i>Simarouba amara</i>		A	Bel. -SA. y las Ant.	ECO,IND
<i>Simaroubaceae</i>	<i>Simarouba glauca</i>		A	Bel. -CR. y las Ant.	ECO,IND
<i>Rubiaceae</i>	<i>Simira maxonii</i>	<i>Sickingia maxonii</i>	A	Nic. -Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Areaceae</i>	<i>Socratea exorrhiza</i>	<i>Socratea durissima</i>	A	Nic. -NSA.	ECO,IND
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Spondias mombin</i>	<i>Spondias aurantiaca</i>	A	Méx. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Spondias purpurea</i>	<i>Spondias cirouella</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Apocynaceae</i>	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND
<i>Apocynaceae</i>	<i>Stemmadenia pubescens</i>	<i>Stemmadenia obovata</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND
<i>Malvaceae</i>	<i>Sterculia apetala</i>		A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND, SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	<i>Stryphnodendron excelsum</i>	A	Nic. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Styracaceae</i>	<i>Styrax argenteus</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Meliaceae</i>	<i>Swietenia humilis</i>	<i>Swietenia cirrhata</i>	A	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
<i>Meliaceae</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Swietenia belizensis</i>	A	Méx. -SA.	IND,SAF
<i>Clusiaceae</i>	<i>Symphonia globulifera</i>		A	Méx. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Tabebuia palustris</i>		AR	CR-SA	ECO
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Tabebuia mexicana</i>	A	SNA. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Malvaceae</i>	<i>Talipariti tiliaceum</i>	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	A	Pantropical	ECO,IND
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Tapirira guianensis</i>	<i>Tapirira myriantha</i>	A	Hond. -SA.	IND
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Tecoma stans</i>	<i>Tecoma incisa</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia obovata</i>	A	Méx. -SA.	IND,SAF
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia catappa</i>		A	Cultivada en los trópicos	ECO,IND,SAF
<i>Combretaceae</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Terminalia lucida</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y Sabanas	Llanos, Suelos arcillosos	BH, BMH	0-1000(-2350)	HE
Bosque secundario y maduro, Tacotal	Laderas, Yermos	BH, BMH, BS	0-900	HD
Bosque secundario y Sabanas	Zonas cálidas y secas, Yermos	BH, BS	0-900	HD
Bosque secundario y Sabanas pedregosas	Zonas cálidas y secas	BS	0-1100(-2900)	HD
Bosque secundario y Sabanas	Llanos, Suelos bien drenados	BH, BS	0-1300(-2000)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos, Suelos rocosos	BH, BS	0-1300(-1500)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000(-2250)	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas, Zonas riparias	BH, BS	0-1200(-1700)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1200(-1500)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias, Zonas palustres	BH, BMH	0-500	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1000	EP
Bosque secundario	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1000(-1500)	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Zonas cálidas	BH, BMH, BS	0-1000(-1500)	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BMH, BS	0-1300(-1800)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro, Zonas riparias	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1100	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	100-900	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Laderas, Zonas riparias, Montañas altas	BH, BMH, BP, BS	0-2500	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1400)	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-2100)	HD
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2200	EP
Bosque estuarino, Manglar	Estuarios	BH, BMH, BS	0-50(-300)	HE
Bosque secundario y maduro	Llanos, Zonas palustres	BH, BMH, BS	0-1200(-2000)	HD
Bosque costero, Manglar	Litoral arenoso, Zonas riparias, Zonas palustres	BH, BMH	0-400	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1300	EP
Bosque secundario, Zonas abiertas	Zonas cálidas secas y húmedas	BH, BMH, BP, BS	0-1500(-3000)	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Relieve ondulado	BH, BMH	0-1000	HD
Bosque costero, Adventicio, Plantaciones	Litoral arenoso, Yermos	BH, BMH, BS	0-1000(-1500)	HD
Bosque secundario, Ecotonos nemorales	Zonas riparias y palustres	BH, BMH, BS	0-1100	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
Burseraceae	<i>Tetragastris panamensis</i>	<i>Tetragastris stevensonii</i>	A	Bel.-SA.	IND
Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i>		AR	SNA.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Thespesia populnea</i>	<i>Hibiscus populneus</i>	A	Méx.-SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i>	<i>Thouinidia decandra</i>	A	Méx.-CR.	ECO,IND
Cannabaceae	<i>Trema integerrima</i>	<i>Trema laxiflora</i>	A	Guat.-SA.	ECO,IND,SAF
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	<i>Celtis canescens</i>	A	SNA.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Meliaceae	<i>Trichilia americana</i>		A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Meliaceae	<i>Trichilia havanensis</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Meliaceae	<i>Trichilia martiana</i>	<i>Trichilia tomentosa</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Trichospermum galeottii</i>		A	Méx.-SA.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Trichospermum grewiiifolium</i>		A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Trichospermum mexicanum</i>		A	Méx.-Hond. y de Pan.-Venez.	ECO
Polygonaceae	<i>Triplaris melaenodendron</i>		A	Méx.-NSA.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Triumfetta lappula</i>		AR	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Trophis mexicana</i>	<i>Trophis chiapensis</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Moraceae	<i>Trophis racemosa</i>	<i>Trophis americana</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	ECO,IND,SAF
Staphyleaceae	<i>Turpinia occidentalis</i>	<i>Turpinia glandulosa</i>	A	Méx.-SA. y las Ant.	SAF
Ulmaceae	<i>Ulmus mexicana</i>		A	Méx.-Pan.	ECO,IND,SAF
Malvaceae	<i>Urena lobata</i>		AR	Pantropical	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Vachellia collinsii</i>	<i>Acacia collinsii</i>	A	Méx.-NSA.	ECO,IND,SAF
Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i>	<i>Acacia farnesiana</i>	AR	SNA.-SA. y las Ant.	ECO,SAF
Asteraceae	<i>Vernonia patens</i>	<i>Vernonia floribunda</i>	AR	Méx.-SA.	ECO,IND
Myristicaceae	<i>Virola guatemalensis</i>	<i>Virola laevigata</i>	A	Méx.-Pan.	ECO,IND
Myristicaceae	<i>Virola koschnyi</i>	<i>Virola merendonis</i>	A	Guat.-Pan.	ECO,IND
Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>	<i>Vismia panamensis</i>	A	Méx.-SA.	ECO,IND
Hypericaceae	<i>Vismia macrophylla</i>		A	Bel.-SA.	ECO,IND
Lamiaceae	<i>Vitex cooperi</i>		A	Guat.-Pan.	ECO,IND,SAF
Vochysiaceae	<i>Vochysia ferruginea</i>		A	Hond.-SA.	IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario y maduro, Ecotonos nemorales	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1100	EP
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH	0-1200	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y secas	BS	0-200	HD
Bosque secundario, Bosque de galería	Zonas riparias	BH, BP, BS	0-1500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BP	0-900	HD
Bosque secundario, Tacotal	Suelos arcillosos	BH, BMH, BP, BS	0-2500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Zonas cálidas y húmedas, Zonas riparias	BH, BS	0-1200(-1600)	HD
Bosque secundario	Ecotonos nemorales	BH, BMH, BP, BSA, BS	0-2800	HD
Bosque secundario, Tacotal	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2100	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH	0-1100	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH	0-1000(-1700)	HD
Bosque secundario	Yermos	BH, BMH, BP	0-1500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BS	0-1200	HD
Bosque secundario, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-1500	HE
Bosque secundario y maduro	Laderas, Zonas riparias	BH, BMH, BP	(100-)900-2100	EP
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1100(-1800)	EP
Bosque secundario y maduro	Laderas, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BSA	(100-)700-3000	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas, Zonas palustres	BH, BP	(400-)800-2500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Yermos	BH, BMH	0-1300	HE
Bosque secundario, Sabanas, Tacotal	Zonas cálidas, Yermos	BH, BS	0-1000(-1400)	HE
Bosque secundario, Sabanas, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BS	0-1300	HD
Ecotonos nemorales, Tacotal	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-2000	HE
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH, BP	0-2000	HD
Bosque secundario y maduro	Amplio	BH, BMH	0-1000(-1800)	HD
Bosque secundario, Tacotal	Suelos arcillosos	BH, BMH, BP, BS	0-1800	HE
Bosque secundario, Tacotal	Suelos arcillosos	BH, BMH	0-800	HE
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1500	HD
Bosque secundario, Tacotal	Suelos arcillosos	BH, BMH	0-1200(-1600)	HD

Familia	Nombre Científico	Sinonimia	Hábito	Distribución	Usos
<i>Vochysiaceae</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>	<i>Vochysia hondurensis</i>	A	Méx. -Pan.	ECO,IND,SAF
<i>Cunoniaceae</i>	<i>Weinmannia pinnata</i>		A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Malvaceae</i>	<i>Wissadula excelsior</i>		AR	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Ximeniaceae</i>	<i>Ximenia americana</i>	<i>Ximenia aculeata</i>	A	Méx. -SA., las Ant. y Áfr.	ECO,IND,SAF
<i>Annonaceae</i>	<i>Xylopia aromatica</i>	<i>Unona aromatica</i>	A	CA. -SA. y las Ant.	IND
<i>Annonaceae</i>	<i>Xylopia frutescens</i>	<i>Xylopia muricata</i>	A	Guat. -SA	IND
<i>Salicaceae</i>	<i>Xylosma flexuosa</i>	<i>Flacourtia flexuosa</i>	A	SNA. -SA.	ECO,IND,SAF
<i>Agavaceae</i>	<i>Yucca guatemalensis</i>	<i>Yucca elephantipes</i>	AR	Méx. -CR.	ECO,IND,SAF
<i>Rutaceae</i>	<i>Zanthoxylum ekmanii</i>	<i>Zanthoxylum belizense</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND
<i>Rutaceae</i>	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	<i>Zanthoxylum kellermanii</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND
<i>Celastraceae</i>	<i>Zinowiewia integerrima</i>	<i>Wimmeria integerrima</i>	A	Méx. -NSA.	IND
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i>		AR	Cultivada en los trópicos	IND,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Zygia latifolia</i>	<i>Pithecellobium latifolium</i>	A	Méx. -SA. y las Ant.	ECO,SAF
<i>Fabaceae</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Pithecellobium longifolium</i>	A	Méx. -SA.	ECO,IND,SAF

Hábitat	Nicho	Zona de Vida	Ámbito Altitudinal (m)	Gremio Ecológico
Bosque secundario	Yermos	BH, BMH, BP	0-1400(-1600)	HD
Bosque secundario y maduro	Ecotonos nemorales, Yermos, Montañas altas	BP, BSA	1100-3200	HD
Bosque secundario, Tacotal	Ecotonos nemorales, Yermos	BH, BMH, BS	0-1000(-1500)	HE
Bosque secundario, Bosque de galería	Ecotonos nemorales, Zonas riparias	BH, BMH, BP, BS	0-1900	HD
Bosque secundario, Sabanas	Suelos arcillosos	BH, BS	0-1200(-1500)	HD
Bosque secundario	Zonas temporalmente inundadas	BH, BMH	0-1200	HD
Bosque secundario, Sabanas, Tacotal	Amplio	BH, BMH, BP, BS	0-2600	HD
Plantaciones, Adventicio	Yermos	BH, BMH, BP, BS	0-2400	HD
Bosque secundario y maduro	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BP	0-1700	HD
Bosque secundario y maduro	Laderas	BH, BMH	0-100	HD
Bosque maduro	Montañas altas	BP	(150-)1000-2800	ES
Plantaciones, Adventicio	Zonas cálidas y secas	BH, BS	0-1000(-1500)	HE
Bosque inundado, Manglar	Zonas palustres	BH, BMH	0-200	HD
Bosque de galería	Zonas cálidas y húmedas	BH, BMH, BS	0-1100(-1400)	HD

Tabla de abreviaturas

Hábito	Distribución	Usos	Zona De Vida	Gremio Ecológico
A= Árbol	Áfr.= África	ECO= Ecológicos	BH= Bosque Húmedo Tropical	EP= Esciófito Parcial
AR= Arbusto	Bel.= Belice	IND= Industriales	BMH= Bosque muy Húmedo Tropical	ES= Esciófito
H= Hierba	CR.= Costa Rica	SAF= Sistemas Agro-forestales	BP= Bosque Pluvial	HE= Heliófito Efímero
	Guat.= Guatemala		BS= Bosque Seco	HD= Heliófito Durable
	Hond.= Honduras		BSA= Bosque Subalpino	
	las Ant.= las Antillas			
	Méx.= México			
	Nic.= Nicaragua			
	NSA.= Norte de Sur América			
	Pan.= Panamá			
	SNA.= Sur de Norte América			
	Venez.= Venezuela			

Cuadro A2. Sistemas Agro-Forestales (SAF)

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Abarema idiopoda</i>	Semilla/Esqueje		1		1			1	
<i>Acacia mangium</i>	Semilla					1			
<i>Acanthocereus tetragonus</i>	Semilla/Esqueje			1		1			
<i>Acrocomia aculeata</i>	Semilla	1				1		1	
<i>Albizia adinocephala</i>	Semilla		1		1	1	1	1	
<i>Albizia niopoides</i>	Semilla		1		1	1			
<i>Allophylus racemosus</i>	Semilla					1		1	
<i>Alnus acuminata</i>	Semilla					1			
<i>Alvaradoa amorphoides</i>	Semilla		1			1	1		
<i>Amphipterygium adstringens</i>	Semilla			1					
<i>Anacardium occidentale</i>	Semilla					1		1	
<i>Andira inermis</i>	Semilla	1	1		1				
<i>Annona cherimola</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Annona muricata</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Annona purpurea</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Annona reticulata</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Apoplanesia paniculata</i>	Semilla				1				
<i>Artocarpus altiiis</i>	Semilla/Esqueje		1	1		1		1	
<i>Astrocaryum alatum</i>	Semilla					1		1	
<i>Astrocaryum confertum</i>	Semilla					1		1	
<i>Astronium graveolens</i>	Semilla							1	
<i>Attalea butyracea</i>	Semilla	1	1			1		1	
<i>Averrhoa bilimbi</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Bactris gasipaes</i>	Semilla					1		1	
<i>Bactris guineensis</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Banara guianensis</i>	Semilla		1	1		1	1		
<i>Bauhinia unguolata</i>	Semilla				1			1	
<i>Bernoullia flammea</i>	Semilla		1			1			
<i>Bixa orellana</i>	Semilla							1	
<i>Blighia sapida</i>	Semilla		1			1	1	1	
<i>Bocconia frutescens</i>	Semilla					1	1		
<i>Bougainvillea glabra</i>	Esqueje			1		1			
<i>Brosimum alicastrum</i>	Semilla	1	1					1	
<i>Brosimum guianense</i>	Semilla		1					1	
<i>Brosimum lactescens</i>	Semilla		1					1	
<i>Brugmansia suaveolens</i>	Semilla/Esqueje			1					
<i>Buddleja nitida</i>	Semilla					1	1		

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Bursera graveolens</i>	Semilla		1			1	1		
<i>Bursera permollis</i>	Semilla			1					
<i>Bursera simaruba</i>	Esqueje	1	1	1		1			
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Semilla		1						
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Semilla			1	1	1	1	1	
<i>Cajanus cajan</i>	Semilla				1	1	1	1	
<i>Calliandra calothyrsus</i>	Semilla	1	1	1	1	1	1		
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Semilla		1						
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Semilla			1		1		1	
<i>Carapa guianensis</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Carapa nicaraguensis</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Carludovica palmata</i>	Semilla			1		1	1	1	
<i>Casearia arborea</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Casearia corymbosa</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Casearia sylvestris</i>	Semilla					1	1		
<i>Casearia tremula</i>	Semilla		1	1		1	1		
<i>Casimiroa edulis</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Cassia grandis</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Cedrela odorata</i>	Semilla		1			1			
<i>Cedrela salvadorensis</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Ceiba pentandra</i>	Semilla/Esqueje	1	1	1		1		1	
<i>Cespedesia spathulata</i>	Semilla			1		1			
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Semilla	1						1	
<i>Chomelia spinosa</i>	Semilla					1			
<i>Christiana africana</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Chrysobalanus icaco</i>	Semilla			1		1	1	1	
<i>Chrysophyllum cainito</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	Semilla		1	1		1	1		
<i>Clarisia biflora</i>	Semilla		1						
<i>Clarisia mexicana</i>	Semilla		1						
<i>Cleyera theaeoides</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	Esqueje			1		1		1	
<i>Coccoloba caracasana</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Coccoloba uvifera</i>	Semilla		1					1	
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Semilla	1							
<i>Cocos nucifera</i>	Semilla					1		1	
<i>Colubrina arborescens</i>	Semilla		1						

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Conostegia xalapensis</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Cordia alliodora</i>	Semilla			1					
<i>Cordia collococca</i>	Semilla		1					1	
<i>Cordia dentata</i>	Semilla			1					
<i>Cordia eriostigma</i>	Semilla		1					1	
<i>Cordia gerascanthus</i>	Semilla		1					1	
<i>Cordia megalantha</i>	Semilla		1					1	
<i>Couepia polyandra</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Couleria platyloba</i>	Semilla	1			1		1		
<i>Couma macrocarpa</i>	Semilla		1					1	
<i>Crateva tapia</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Crescentia alata</i>	Semilla	1		1					
<i>Crescentia cujete</i>	Semilla			1					
<i>Crotalaria pallida</i>	Semilla				1				
<i>Croton niveus</i>	Semilla			1		1			
<i>Cryosophila warscewiczii</i>	Semilla					1		1	
<i>Cupania glabra</i>	Semilla		1			1			
<i>Cupania guatemalensis</i>	Semilla		1	1		1	1		
<i>Dalbergia glomerata</i>	Semilla		1		1			1	
<i>Dalbergia retusa</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Dilodendron costaricense</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Diospyros digyna</i>	Semilla		1					1	
<i>Diphysa americana</i>	Semilla	1	1	1	1	1			
<i>Dodonaea viscosa</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Drimys granadensis</i>	Semilla/Esqueje		1	1		1	1	1	
<i>Ehretia latifolia</i>	Semilla		1	1				1	
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Semilla	1	1		1				
<i>Erblichia odorata</i>	Semilla		1			1	1		
<i>Eriobotrya japonica</i>	Semilla			1		1	1	1	
<i>Erythrina berteroaana</i>	Semilla/Esqueje	1		1	1	1	1		
<i>Erythrina fusca</i>	Semilla/Esqueje	1	1	1	1	1		1	
<i>Erythroxylum havanense</i>	Semilla		1			1	1		
<i>Erythroxylum macrophyllum</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Euterpe precatoria</i>	Semilla							1	
<i>Exostema caribaeum</i>	Semilla	1							
<i>Ficus colubrinae</i>	Esqueje		1	1		1			
<i>Ficus costaricana</i>	Esqueje		1	1		1		1	

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Ficus goldmanii</i>	Esqueje		1	1		1			
<i>Ficus morazaniana</i>	Esqueje		1						
<i>Ficus nymphaeifolia</i>	Esqueje		1						
<i>Ficus obtusifolia</i>	Esqueje		1	1		1			
<i>Ficus pertusa</i>	Esqueje			1		1			
<i>Fuchsia paniculata</i>	Semilla					1	1		
<i>Galphimia glauca</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Garcia nutans</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Garcinia intermedia</i>	Semilla		1					1	
<i>Genipa americana</i>	Semilla		1			1			
<i>Giricidia sepium</i>	Semilla/Esqueje	1	1	1	1	1			
<i>Godmania aesculifolia</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Goethalsia meiantha</i>	Semilla		1			1	1		
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Semilla	1	1	1		1			
<i>Guettarda macrosperma</i>	Semilla		1	1		1	1		
<i>Gynerium sagittatum</i>	Díaspota			1		1	1		
<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Semilla	1						1	
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Semilla		1	1				1	
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Handroanthus ochraceus</i>	Semilla								
<i>Hasseltia floribunda</i>	Semilla					1	1		
<i>Hauya elegans</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Herrania purpurea</i>	Semilla							1	
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	Semilla							1	
<i>Huertea cubensis</i>	Semilla		1					1	
<i>Hymenaea courbaril</i>	Semilla		1		1	1		1	
<i>Indigofera suffruticosa</i>	Semilla				1				
<i>Inga densiflora</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Inga edulis</i>	Semilla		1		1	1		1	1
<i>Inga inicuil</i>	Semilla		1		1				1
<i>Inga laurina</i>	Semilla				1				
<i>Inga leiocalycina</i>	Semilla				1			1	
<i>Inga marginata</i>	Semilla		1		1		1		1
<i>Inga oerstediana</i>	Semilla		1		1			1	1
<i>Inga punctata</i>	Semilla		1		1				1
<i>Inga ruiziana</i>	Semilla				1				
<i>Inga samanensis</i>	Semilla				1				

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Inga sapindoides</i>	Semilla		1		1				
<i>Inga thibaudiana</i>	Semilla		1		1				
<i>Inga vera</i>	Semilla		1		1				
<i>Jacaranda copaia</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Jatropha curcas</i>	Semilla/Esqueje	1		1		1			
<i>Juglans olanchana</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Lacistema aggregatum</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Lacmellea panamensis</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Laelia procera</i>	Semilla					1			
<i>Leptolobium panamense</i>	Semilla		1		1				
<i>Leucaena leucocephala</i>	Semilla	1			1	1	1	1	
<i>Libidibia coriaria</i>	Semilla	1	1		1	1			
<i>Licania arborea</i>	Semilla		1					1	
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Semilla		1			1	1	1	
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	Semilla		1		1				
<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i>	Semilla				1				
<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	Semilla				1				
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	Semilla				1				
<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	Semilla				1				
<i>Lysiloma auritum</i>	Semilla		1		1				
<i>Lysiloma divaricatum</i>	Semilla	1	1		1	1			
<i>Lysiloma latissiliquum</i>	Semilla	1	1		1				
<i>Machaerium biovulatum</i>	Semilla				1	1		1	
<i>Maclura tinctoria</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Macrohasseltia macroterantha</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Magnolia sororum</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Malpighia glabra</i>	Semilla			1		1	1	1	
<i>Malvaviscus arboreus</i>	Semilla/Esqueje			1		1	1		
<i>Mammea americana</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Manilkara chicle</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Manilkara zapota</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Margaritaria nobilis</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Melicoccus bijugatus</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Miconia argentea</i>	Semilla			1		1			
<i>Miconia chamissois</i>	Semilla						1		
<i>Mimosa pigra</i>	Semilla				1				
<i>Minquartia guianensis</i>	Semilla					1		1	

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Morella cerifera</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Moringa oleifera</i>	Semilla	1		1		1		1	
<i>Mouriri gleasoniana</i>	Semilla		1						
<i>Muntingia calabura</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Myrcia splendens</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Myrosporum frutescens</i>	Semilla				1	1			
<i>Myroxylon balsamum</i>	Semilla				1				
<i>Nectandra membranacea</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Nectandra reticulata</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Pachira aquatica</i>	Semilla		1						
<i>Pachira quinata</i>	Semilla/Esqueje		1	1		1		1	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Semilla			1	1	1	1	1	
<i>Pentaclethra macroloba</i>	Semilla		1		1	1		1	
<i>Persea americana</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Persea schiedeana</i>	Semilla		1					1	
<i>Phyllanthus acuminatus</i>	Semilla/Esqueje							1	
<i>Picramnia antidesma</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Pimenta dioica</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Pinus oocarpa</i>	Semilla		1			1	1	1	
<i>Piper tuberculatum</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Piscidia carthagenensis</i>	Semilla				1				
<i>Pithecellobium dulce</i>	Semilla	1		1	1	1			
<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	Semilla					1			
<i>Podocarpus guatemalensis</i>	Semilla						1	1	
<i>Podocarpus oleifolius</i>	Semilla						1	1	
<i>Poincianella eriostachys</i>	Semilla			1	1	1			
<i>Poincianella exostemma</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Posoqueria latifolia</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Poulsenia armata</i>	Semilla		1						
<i>Pouteria sapota</i>	Semilla		1					1	
<i>Prioria copaifera</i>	Semilla				1				
<i>Prosopis juliflora</i>	Semilla	1	1	1	1	1			
<i>Pseudosamanea guachapele</i>	Semilla		1	1	1	1		1	
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Psidium guajava</i>	Semilla			1		1			

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Psidium sartorianum</i>	Semilla		1			1			
<i>Pterocarpus officinalis</i>	Semilla				1				
<i>Punica granatum</i>	Semilla			1		1	1	1	
<i>Quararibea funebris</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Quassia amara</i>	Semilla					1	1	1	
<i>Randia aculeata</i>	Semilla			1		1			
<i>Raphia taedigera</i>	Semilla		1					1	
<i>Rehdera trinervis</i>	Semilla					1		1	
<i>Ricinus communis</i>	Semilla						1	1	
<i>Robinsonella lindeniana</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Roupala montana</i>	Semilla		1	1		1	1		
<i>Ryania speciosa</i>	Semilla			1		1	1		
<i>Salix humboldtiana</i>	Semilla	1	1	1		1	1		
<i>Samanea saman</i>	Semilla	1	1		1	1		1	
<i>Sapindus saponaria</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Sapranthus palanga</i>	Semilla		1			1			
<i>Schizobium parahyba</i>	Semilla		1		1				
<i>Sciadodendron excelsum</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Semialarium mexicanum</i>	Semilla					1			
<i>Senna atomaria</i>	Semilla	1		1		1		1	
<i>Senna skinneri</i>	Semilla	1			1	1	1		
<i>Senna spectabilis</i>	Semilla	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Sideroxylon capiri</i>	Semilla	1	1					1	
<i>Simira maxonii</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Spondias mombin</i>	Semilla			1					
<i>Spondias purpurea</i>	Esqueje	1	1	1		1			
<i>Sterculia apetala</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	Semilla		1		1	1		1	
<i>Styrax argenteus</i>	Semilla		1					1	
<i>Swietenia humilis</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Swietenia macrophylla</i>	Semilla							1	
<i>Tabebuia rosea</i>	Semilla		1						
<i>Tecoma stans</i>	Semilla			1					
<i>Terminalia amazonia</i>	Semilla		1			1			
<i>Terminalia catappa</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Terminalia oblonga</i>	Semilla		1						
<i>Theobroma cacao</i>	Semilla			1		1		1	

Nombre Científico	Sistema Reproductivo	Forraje	Sombra	Cercas Vivas	Fijación de N.	Setos	Cortinas Rompeviento	Cultivos Mixtos	Callejones
<i>Thespesia populnea</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Trema integerrima</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Trema micrantha</i>	Semilla			1		1			
<i>Trichilia americana</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Trichilia havanensis</i>	Semilla			1					
<i>Trichilia martiana</i>	Semilla		1	1		1	1	1	
<i>Trichospermum galeottii</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Trichospermum grewiifolium</i>	Semilla		1	1		1			
<i>Triplaris melaenodendron</i>	Semilla			1		1			
<i>Triumfetta lappula</i>	Esqueje			1		1	1	1	
<i>Trophis mexicana</i>	Semilla		1					1	
<i>Trophis racemosa</i>	Semilla		1					1	
<i>Turpinia occidentalis</i>	Semilla		1				1		
<i>Ulmus mexicana</i>	Semilla		1			1		1	
<i>Urena lobata</i>	Semilla						1		
<i>Vachellia collinsii</i>	Semilla				1	1			
<i>Vachellia farnesiana</i>	Semilla			1	1				
<i>Vitex cooperi</i>	Semilla		1	1		1		1	
<i>Vochysia ferruginea</i>	Semilla					1		1	
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Semilla					1			
<i>Weinmannia pinnata</i>	Semilla		1			1	1	1	
<i>Wissadula excelsior</i>	Semilla						1		
<i>Ximenia americana</i>	Semilla					1		1	
<i>Xylosma flexuosa</i>	Semilla			1		1			
<i>Yucca guatemalensis</i>	Diáspora			1		1	1		
<i>Ziziphus mauritiana</i>	Semilla					1			
<i>Zygia latifolia</i>	Semilla				1				
<i>Zygia longifolia</i>	Semilla		1	1	1	1		1	

4

Monitoreo y evaluación de proyectos de restauración del paisaje

Autor | **Manuel Spinola**

Contenido

1. Monitoreo y evaluación de proyectos de restauración del paisaje	417
1.1 Definición y tipos de monitoreo.....	417
1.2 Etapas del monitoreo.....	418
1.2.1. Establecer los objetivos del monitoreo.....	419
1.2.2 Identificar las variables (indicadores) a monitorear	419
1.3 Indicadores socioeconómicos	422
1.4 Indicadores ambientales.....	423
1.5 Establecer un umbral.....	423
1.6 Desarrollar un diseño de muestreo y coleccionar los datos.....	424
1.7 Medir el indicador	425
1.7.1 Conteos completo	425
1.7.2 Conteo completo en unidades de muestreo seleccionadas	425
1.8 Protocolos de muestreo probabilísticos para medir el indicador.....	425
1.8.1 Muestreo al azar simple	425
1.8.2 Muestreo al azar estratificado	425
1.9 Conteos incompletos.....	426
1.9.1 Índices.....	427
1.9.2 Métodos que ajustan por la detectabilidad	427
1.9.3 Tasa de ocupación.....	428
1.10 Analizar los datos.....	429
1.11 Evaluar los resultados	430
1.12 Comunicar los resultados	431
Bibliografía	432

Índice de cuadros y figuras

Cuadros

1.	Ejemplos de indicadores para evaluar y monitorear en sistemas incluidos en estrategias de restauración del paisaje	420
2.	Ejemplos de indicadores socioeconómicos para evaluar y monitorear estrategias de restauración del paisaje	422
3.	Matriz para seleccionar la o las especies a monitorear utilizando ciertos criterios biológicos y de manejo	424
4.	Métodos basados en conteos o capturas para estimar la abundancia o densidad de una población animal	427
5.	Tipos de variables respuestas y modelos estadísticos sugeridos para el análisis de datos de monitoreo de proyectos de restauración del paisaje	430

Figuras

1.	Rol del monitoreo de implementación y efectividad en proyectos de restauración	418
2.	Etapas del monitoreo orientado a evaluar la efectividad de un proyecto de restauración del paisaje	419
3.	Diseño de muestreos probabilísticos para medir ciertos tipos de indicadores.....	426
4.	Árbol de decisión sobre métodos para medir la abundancia de población.....	428
5.	Modelos estadísticos para el análisis de datos de monitoreo de proyectos de restauración del paisaje.	429

1. Monitoreo y evaluación de proyectos de restauración del paisaje

1.1 Definición y tipos de monitoreo

La restauración ecológica es el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (Clewell y Aronson 2013). La restauración ecológica, en su concepción más “idealista”, tiene como objetivo retornar la estructura, la función y el proceso de los ecosistemas a una condición “natural” o de referencia (Block et ál. 2001). Sin embargo, en un cambio de paradigma, la restauración ecológica se ha planteado como una variedad de objetivos que van desde la restauración de una ambiente degradado, con fines productivos, hasta la restauración ecológica a una condición “natural” (Choi 2007). Es por ello, que la restauración ecológica incluye diversos grados: rehabilitación, reclamación, revegetación, remediación, entre otros (Bradsah 2002).

La restauración del paisaje también está comprendida en la restauración ecológica, entendiéndose como paisaje el mosaico de ecosistemas interactuantes. Aún así, el ecosistema sigue constituyendo la unidad básica donde se focaliza la restauración ecológica (Clewell y Aronson 2013).

Un supuesto clave e implícito en todo proyecto de restauración, que se considere exitoso, es que este beneficiará la función o estructura de un sistema, o brindará un beneficio económico o socialmente aceptable (Bradshaw 2002, Choi 2007, IUCN y WRI 2014). No obstante, raramente se pone a prueba. La puesta a prueba de un proceso de restauración ecológica se efectúa mediante el monitoreo.

El monitoreo se puede definir como la evaluación repetitiva del estatus de una cantidad o atributo en un área por un período específico de tiempo (Thompson et ál. 1998). En este sentido, el monitoreo se usa para evaluar el cambio o tendencia de un recurso, por lo tanto, se focaliza en la dinámica del recurso, no solo en su estado. Aunque, el monitoreo en su aproximación más moderna se debe enmarcar dentro de claros objetivos para la toma de decisiones (p. ej. manejo adaptativo). En consecuencia, el monitoreo se puede definir como

la colecta y análisis de observaciones o medidas repetidas para evaluar cambios en la condición y progreso hacia un objetivo (Elzinga et ál. 1998, Williams y Nichols 2006). En esta segunda definición, es claro que el monitoreo busca evaluar el éxito de la toma de decisiones.

En el marco de un proyecto de restauración ecológica se pueden desarrollar dos tipos de monitoreo, el monitoreo de implementación y de efectividad (Block et ál. 2001; Figura 1).

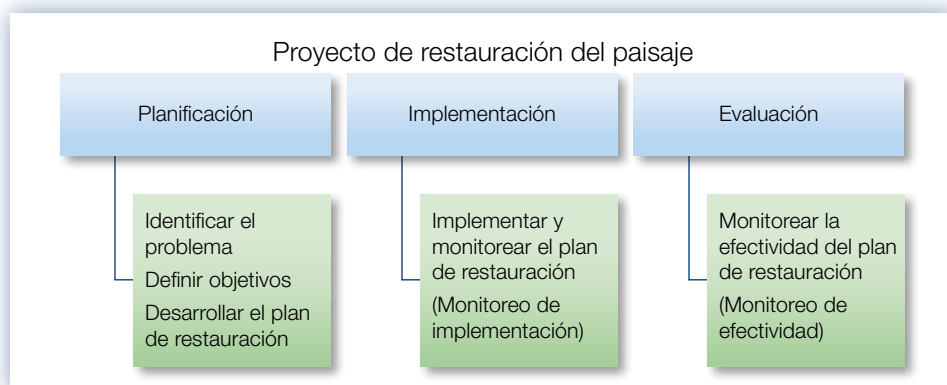


Figura 1. Rol del monitoreo de implementación y efectividad en proyectos de restauración.

Fuente: Elaboración del autor, 2015.

El monitoreo de implementación se realiza para registrar que las medidas de restauración se están aplicando acorde a lo planeado (Hutto y Belote 2013). Por ejemplo, para corroborar que el plan de revegetación de áreas riparias se están llevando a cabo de acuerdo con lo establecido. Es decir, saber si se está logrando la estructura y composición vegetal deseada.

Por otro lado, el monitoreo de efectividad se implementa para evaluar si las medidas de restauración han sido efectivas y si se está logrando el objetivo (Hutto y Belote 2013). Por ejemplo, para determinar si la comunidad de aves se restauró con las condiciones deseadas.

1.2 Etapas del monitoreo

El monitoreo involucra un serie de etapas en las cuales se deben considerar aspectos básicos como: ¿qué?, ¿por qué?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿cómo? monitorear (Block et ál. 2001, Yoccoz et ál. 2001). Estas etapas incluyen: 1) establecer los objetivos del monitoreo, 2) identificar las variables a monitorear, 3) establecer un umbral, 4) desarrollar un diseño de muestreo, 5) colectar los datos, 6) analizar los datos, 7) evaluar los resultados (Figura 2; Block et ál. 2001). La evaluación de los resultados del monitoreo debería responder a la pregunta: fue la restauración efectiva para el recurso en cuestión o se deben realizar otras acciones de restauración para alcanzar el objetivo de la restauración ecológica.

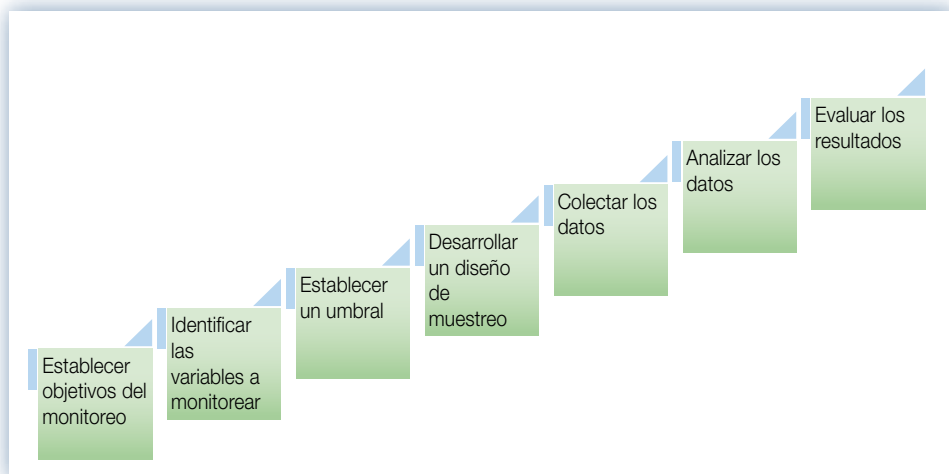


Figura 2. Etapas del monitoreo orientado a evaluar la efectividad de un proyecto de restauración del paisaje.

Fuente: Elaboración del autor, 2015.

1.2.1 Establecer los objetivos del monitoreo

En el monitoreo aplicado a proyectos de restauración es necesario establecer de manera clara y explícita los objetivos a alcanzar (Dey y Schweitzer 2014). Estos objetivos deben ser basados en el conocimiento del sistema que se quiere restaurar y deben ser de tipo cuantitativo, de acuerdo con la escala y naturaleza de la restauración (Block et ál. 2001). El establecimiento de objetivos permite escoger los indicadores adecuados. De otra manera, si los objetivos no son claros y cuantificables hacen que el monitoreo sea inefectivo, potencialmente equívoco y peligroso para la toma de decisiones (Legg and Nagy 2006). Un elemento fundamental en esta etapa es establecer información de línea base para poder evaluar la efectividad del proceso de restauración.

1.2.2 Identificar las variables (indicadores) a monitorear

La siguiente etapa debe ser, ¿qué medir? Los indicadores o variables deben ser simples, medibles, relevantes, confiables y oportunas (SMARRT, por sus sigla en inglés, *Simple, Measurable, Relevant, Reliable, Timely*; Vallauri et ál. 2005):

- Simples de medir, tales como, porcentaje de cobertura, número de especies, entre otros.
- Medibles con facilidad, sin requerir mucha experiencia y de bajo costo.
- Relevantes por estar asociado a estados clave de cambios en el ecosistema, acciones de manejo, sucesión y función.
- Confiables en su relación con estados y funciones del ecosistema de manera certeramente predecible.

- Oportunas en el sentido de que su medida se puede hacer coincidente con estados clave en los cambios del ecosistema, y proveen información preventiva para el manejo adaptativo.

Métricas asociadas a la vegetación han sido dominantes en los indicadores utilizados en proyectos de restauración ecológica, debido a su fácil medición, su relación con muchos atributos funcionales de los ecosistemas y porque se piensa que proveen los requerimientos de hábitat para muchos organismos (Dey y Schweitzer 2014). Sin embargo, Ruiz-Jaen y Aide (2005), argumentan que un conjunto razonable de indicadores debería incluir medidas de diversidad, estructura de la vegetación y funciones ecológicas. Además, es importante incluir en el conjunto de indicadores más de un grupo de organismos de diferentes niveles tróficos (Dey y Schweitzer 2014), que deberían caracterizar los diferentes elementos claves y funciones del ecosistema. A pesar de la variedad de indicadores usados para evaluar los procesos de restauración, es claro, que se han focalizado en aspectos físicos del ambiente y atributos de la biodiversidad de los ecosistemas, no obstante, es necesario incorporar indicadores que consideren aspectos socioeconómicos (Dey y Schweitzer 2014).

Reconocer la variedad de indicadores que se pueden usar para el monitoreo y la evaluación de proyectos de restauración, es posible clasificarlos como indicadores socioeconómicos e indicadores ambientales (Gasana 2005). A su vez, los indicadores ambientales se pueden clasificar en bióticos y abióticos. Los indicadores bióticos son aquellos componentes vivos del sistema, por ejemplo, la presencia de una especie, su tamaño de población, su tasa de supervivencia, entre otros. Los indicadores abióticos son atributos físicos y químicos del ambiente, por ejemplo, el pH del suelo, el oxígeno disuelto en el agua, el óxido de sulfuro presente en el aire, entre otros. En el Cuadro 1 se listan algunos ejemplos para sistemas incluidos en las estrategias de restauración del paisaje.

Cuadro 1. Ejemplos de indicadores para evaluar y monitorear en sistemas incluidos en estrategias de restauración del paisaje

Sistema	Ejemplo de indicadores
Bosques	
Bosques en áreas silvestres protegidas	Composición florística (número de especies asociados a bosques maduros) Estructura de la vegetación (frecuencia de categorías de DAP, área basal/ha)
Bosques de producción en áreas privadas y comunales	Composición florística (número de especies asociadas a bosques maduros) Estructura de la vegetación (frecuencia de categorías de DAP) Proporción de bosque nativo Proporción de bosque conteniendo diferentes estados sucesionales Mediana del tamaño de los fragmentos de bosque nativos
Páramo	Número de especies invasoras Recuperación del régimen hídrico

Sistema	Ejemplo de indicadores
Ecosistemas acuáticos terrestres	
Manglar	Nivel de sedimentación Recuperación del régimen hídrico Calidad del agua Densidad poblacional de especies indicadoras
Humedales	Nivel de sedimentación Recuperación del régimen hídrico Calidad del agua Número de especies invasoras
Rivera de ríos	Cobertura de bosque ribereño Recuperación funcional del bosque ribereño Calidad del agua Nivel de sedimentación Número de especies peces y macroinvertebrados
Agrícola	
Tierras degradadas	Nivel de nutrientes y minerales Cantidad de cobertura Número de especies animales y vegetales Nivel de conectividad Contenido de materia orgánica del suelo Condiciones de estructura y porosidad del suelo Actividad biológica del suelo Ocurrencia y severidad de la escorrentía y de la erosión Proporción de tierras abandonadas o degradadas
Cultivos perennes	Cantidad de cobertura Número de especies animales y vegetales Nivel de conectividad Contenido de materia orgánica del suelo Condiciones de estructura y porosidad del suelo Actividad biológica del suelo Proporción de cultivos mezclados o con ganadería Cambio en las tasas de uso de insumos
Cultivos anuales	Cantidad de cobertura Nivel de conectividad Número de especies animales y vegetales Proporción de cultivos mezclados o con ganadería Cambio en las tasas de uso de insumos
Praderas	Cantidad de cobertura Número de especies animales y vegetales Nivel de conectividad Nivel de producción Proporción de cultivos mezclados o con ganadería Cambio en las tasas de uso de insumos
Minas y otros	
Minas	Nivel de nutrientes y minerales Cantidad de cobertura Número de especies animales y vegetales Nivel de conectividad Nivel de contaminantes
Canteras	Nivel de nutrientes y minerales Cantidad de cobertura Número de especies animales y vegetales Nivel de conectividad Nivel de contaminantes

Fuente: Elaborado por Andrés Sanchún y Manuel Spinola, 2015.

1.3 Indicadores socioeconómicos

Para el monitoreo de indicadores socioeconómicos es necesario definir la población bajo estudio, es decir la escala, que en definitiva establece el marco de muestreo. Como esto es dependiente del estudio, la población a monitorear variará considerablemente de acuerdo con el proyecto de restauración que se esté evaluando. Independientemente de la escala, se debe obtener información de línea base para los indicadores por monitorear, si todavía no se cuenta con esta información. En el Cuadro 2 se listan algunos indicadores socioeconómicos que se pueden usar en la evaluación y monitoreo en estrategias de restauración del paisaje.

Cuadro 2. Ejemplos de indicadores socioeconómicos para evaluar y monitorear estrategias de restauración del paisaje

Indicador	Medida (cuantificador)
Bosques	
Nivel de riesgo de desastres naturales	# de eventos (deslizamientos, inundaciones, períodos de sequía, pérdidas económicas, número de víctimas)
Calidad del suelo	Gasto en insumos agrícolas
Disponibilidad de agua	Caudal de agua disponible para dotar la producción agrícola, industrial y energía # de hogares provistos de agua potable
Grado de compromiso de los usuarios de los recursos	# de comunidades participantes en proyectos de restauración
Diversidad productiva	Cantidad del capital circulante por la diversificación de la oferta determina una mayor flexibilidad para los productores que lo implementan (ingreso anual equivalente (IAE))
Gestión (zonificación de usos del suelo)	# de fincas zonificadas
Gestión (recuperación de la plusvalía de tierra)	# de herramientas de política pública destinadas a promover el desarrollo urbano (# de inversiones en infraestructura)
Formación de capital humano	# de personas capacitadas
Oferta laboral	# de trabajos resultantes de la restauración del paisaje

Fuente: Elaborado por Andrés Sanchún y Manuel Spinola, 2015.

La fuente de datos socioeconómicos puede ser primaria o secundaria. La fuente primaria proviene del trabajo directo con los grupos involucrados en la restauración, por ejemplo, entrevistas a grupos focales, análisis económico de una actividad en particular, entre otros. La fuente secundaria proviene de reportes realizados por agencias gubernamentales y no gubernamentales, que pueden brindar información específica para la evaluación y el monitoreo del proyecto de restauración.

La obtención de datos socioeconómicos de fuente primaria se puede llevar a cabo mediante un censo o un muestreo. En el caso de un censo se debe incluir a todos los elementos de la población. Esto a veces resulta logísticamente difícil de lograr por lo que se prefiere el muestreo. El muestreo consiste en obtener información de parte de la población (la muestra) para realizar inferencias sobre ella. Para esto se debe aplicar un diseño de muestreo apropiado para coleccionar los datos y luego realizar la inferencia (Cochran 1977).

1.4 Indicadores ambientales

Los indicadores ambientales son fundamentales para el monitoreo y evaluación de un proyecto de restauración. Como se especificó anteriormente, estos indicadores pueden ser abióticos o bióticos. El énfasis de este Capítulo está en los indicadores bióticos, los cuales deberían constituir el propósito final de un proyecto de restauración. Aunque, mucho de los conceptos de muestreo y análisis aquí desarrollados se aplican similarmente a indicadores abióticos.

Cuando se considera la evaluación de proyectos de restauración en relación con la biodiversidad, Block et ál. (2001) concluyen, que el monitoreo de la dinámica de la población es más apropiado. Esto incluye métricas como la densidad de población y tasas vitales (tasa de supervivencia y de reproducción). Dicha conclusión está basada en que la respuesta de la población de una especie a la restauración, es la medida más directa. Los mismos autores no recomiendan el uso de métricas comunitarias, tales como la riqueza de especies o índices de diversidad para evaluar la respuesta de la biota a la restauración ecológica.

En este Capítulo se detalla el monitoreo de la abundancia o densidad como atributo de la población. Si bien hay otros atributos de la población que se pueden monitorear, como la tasa de reproducción, la tasa de supervivencia (o mortalidad), la distribución espacial, quedan más allá del alcance de este Capítulo.

Dado que los recursos son limitados es importante seleccionar que especies se van a monitorear. Para ello es posible realizar procesos estructurados de selección basados en una serie de atributos a tomar en cuenta para justificar la selección. Por ejemplo, este proceso puede incluir criterios biológicos y de manejo, y cada uno de estos criterios puede ser ponderado por un peso que se escoge dependiendo del contexto en el que se desarrolla el programa de monitoreo (Cuadro 3). La idea es seleccionar unas especies focales, y la o las especies con puntaje más alto, son las que se incluirán en el programa de monitoreo.

1.5 Establecer un umbral

El monitoreo es un componente esencial en el manejo adaptativo, por lo tanto, establecer un umbral puede proveer una indicación que permita evaluar si el tratamiento o acción de restauración debe continuar, modificarse o detenerse (Block et ál. 2001). Ejemplos de umbrales pueden ser la densidad de población de una o más especies que está por encima o por debajo de un valor específico, o la presencia o ausencia de una especie en un sitio restaurado, o el porcentaje alcanzado por un tipo de cobertura vegetal, o que los valores de productividad alcanzan o exceden un nivel mínimo (Block et ál. 2001). Es aconsejable establecer umbrales (estrechamente vinculados a los objetivos del monitoreo) que sean muy específicos, por ejemplo, incrementar a 200 las parejas de lapas (*Ara macao*) para el 2020 en el Pacífico Central de Costa Rica.

Cuadro 3. Matriz para seleccionar la o las especies por monitorear utilizando ciertos criterios biológicos y de manejo (basado en Elzinga et ál. 1998)

		Criterios biológicos						Criterios de manejo								
		Rareza	Estado taxonómico	Sensibilidad a amenazas	Declinación conocida	Magnitud de las amenazas	Proximidad de las amenazas	Importancia de poblaciones locales		Conflictos existentes	Facilidad de monitoreo	Disponibilidad de acciones de manejo	Potencial de recuperación	Interés público	Potencial para una crisis	Total
Especie	Peso ^a															
Especie A	Valuación para la especie ^b															
	Valuación x Peso															
Especie B	Valuación para la especie ^b															
	Valuación x peso															
Especie C	Valuación para la especie ^b															
	Valuación x peso															
Especie D	Valuación para la especie ^b															
	Valuación x peso															
Especie E	Valuación para la especie ^b															
	Valuación x peso															

a Valores de peso (ponderado) entre 1 y 5 (1 = importancia más baja).

b Valuación para la especie entre 1 y 3 (1 = importancia más baja).

Fuente: Elaboración del autor, 2015.

1.6 Desarrollar un diseño de muestreo y coleccionar los datos

Para poder evaluar el éxito de la restauración se debe tener información exacta y precisa de la respuesta de los indicadores o variables por medir (Block et ál. 2001). Para ello se debe implementar un diseño de muestreo del monitoreo acorde a la escala de medición de los indicadores o variables seleccionadas (Legg and Nagy 2006, DeLuca et ál. 2008). Los estudios ambientales pueden ser clasificados de manera amplia como, experimentales u observacionales (Manly 1992). Los estudios experimentales se utilizan para entender cómo funciona el sistema (causa y efecto). En cambio los estudios observacionales, miden patrones.

En el caso de proyectos de restauración uno pretende conocer si la restauración (en diseño experimental, este sería el tratamiento) tiene un efecto en la respuesta que se está monitoreando (Block et ál. 2001). Esto hace pensar en un diseño experimental, sin embargo, como las unidades no son asignadas al azar y en la mayoría de los casos no hay verdaderas réplicas, por lo que en el caso de proyectos de restauración, se puede ver como un diseño cuasi experimental (Eberhardt and Thomas 1991).

1.7 Medir el indicador

Una vez determinados el o los indicadores se debe implementar su medición. Para medir un indicador se puede realizar un censo o un muestreo. A continuación se discuten los conteos completos, ya sea en el área de estudio (censo) o en las unidades de muestreo; y los conteos incompletos, que incluyen los índices o métodos de enumeración que ajustan el conteo por la detectabilidad.

1.7.1 Conteos completo

Censo

Realizar un censo implica contar todos los elementos de la población. Por ejemplo, contar todos los individuos de elefantes marinos (*Mirounga leonina*) en una playa a través de una fotografía aérea. Pero en muchas ocasiones un censo no es logísticamente posible. Por ejemplo, si se quiere conocer el número de ocelotes (*Leopardus pardalis*) en el Parque Nacional Tapantí mediante un censo, es necesario contar todos los individuos presentes en el parque. Sin embargo, esto es una tarea muy difícil, sino imposible, debido a que el ocelote es una especie muy elusiva. Por esta razón, es más apropiado realizar un muestreo, el cual se puede efectuar mediante métodos de muestreos especializados, como por ejemplo, el muestreo de captura-recaptura.

1.7.2 Conteo completo en unidades de muestreo seleccionadas

En algunos casos es posible contar el número total de elementos o individuos en las unidades de muestreos seleccionadas. Por ejemplo, es posible contar el número de ceibas (*Ceiba pentandra*) en parcelas de 1 ha y luego se obtiene un estimado para todo el marco de muestreo. Este procedimiento es un poco más difícil de implementar en poblaciones de especies animales que son muy crípticas y elusivas. Para este método se debe realizar una selección de las unidades a muestrear (parcelas, puntos de conteos, entre otros), para ello se debe utilizar un diseño de muestreo probabilístico. A continuación se describen tres de los diseños de muestreo más comunes: el muestreo aleatorio simple, el muestreo aleatorio estratificado, el muestreo sistemático con inicio al azar.

1.8 Protocolos de muestreo probabilísticos para medir el indicador

1.8.1 Muestreo al azar simple

Es un procedimiento que escoge las unidades de muestreo con una chance de selección conocida (Williams et ál. 2002). Para obtener una muestra aleatoria, el investigador asigna una probabilidad a cada unidad de muestreo y selecciona un subconjunto de ellas basado en estas probabilidades (Figura 3a).

1.8.2 Muestreo al azar estratificado

Este procedimiento consiste en separar el área de estudio en estratos y seleccionar unidades de muestreo a través de muestreos aleatorios simples dentro de cada estrato (Williams et ál.

2002; 3b). La manera más eficiente de usar este procedimiento es identificar variabilidad dentro de cada estrato y ubicar las unidades de muestreo en proporción a esa variabilidad. Ha de realizarse un mayor esfuerzo de muestreo en los estratos de mayor variabilidad (Thompson et ál. 1998). El estimado resultante del muestreo al azar estratificado tiende a ser generalmente más preciso que el resultante de un muestreo al azar simple (Cochran 1977).

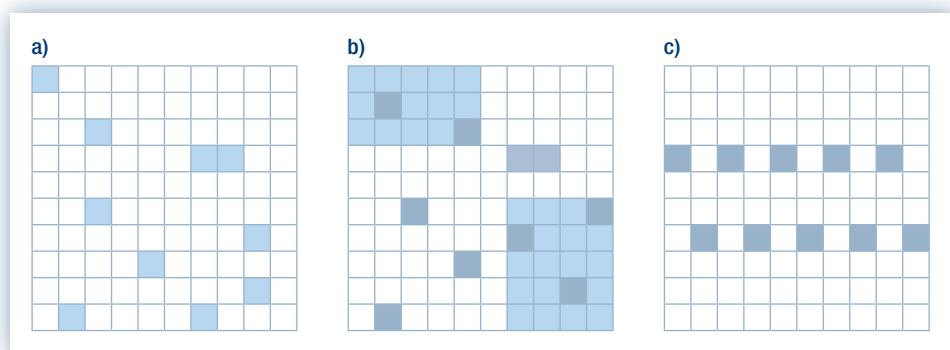


Figura 3. Diseño de muestreos probabilísticos para medir ciertos tipos de indicadores, a) muestreo al azar simple donde se muestran 10 unidades de muestreo seleccionadas al azar (cuadrados grises) en un marco de muestreo de 100 unidades de muestreo, b) muestreo aleatorio estratificado donde 10 unidades de muestreo se ubicaron al azar en dos estratos, cinco en un estrato y cinco en el otro estrato, c) muestreo al azar estratificado con inicio al azar. La primera unidad de muestreo se ubicó en la séptima celda (contando desde el borde inferior izquierdo) de manera aleatoria y luego se ubicaron las unidades de muestreo sistemáticamente cada décima unidad.

Este procedimiento se fundamenta en escoger una unidad de muestreo al azar y a partir de esta, a intervalos constantes, se eligen las demás unidades de muestreo hasta completar la muestra (Thompson et ál. 1998). Por ejemplo, si nuestro marco de muestreo es de 100 unidades y nuestro tamaño de muestra es 10, el intervalo de selección será de $100/10 = 10$. Luego se escoge la primera unidad de muestreo al azar del 1 al 10, y a partir de esta unidad ubicamos las restantes unidades de acuerdo con el intervalo de selección calculado. Este tipo de muestreo no requiere un marco de muestreo bien definido y además proporciona una buena cobertura de la población a muestrear (Williams et ál. 2002).

1.9 Conteos incompletos

El conteo incompleto significa que no todos los individuos son contados en la unidad de muestreo. Existen básicamente dos aproximaciones para tratar este tipo de información, 1) los índices, que consiste en asumir que la proporción de individuos detectados es la misma para todas las unidades de muestreo y para todos los intervalos de tiempo; y 2) métodos de enumeración, que consisten en calcular la detectabilidad a partir del proceso de muestreo y usarla para ajustar la abundancia (Thompson et ál. 1998).

1.9.1 Índices

Un índice es un estadístico que se asume está correlacionado, de alguna manera, con algún parámetro de interés. Los índices de abundancia o densidad han sido ampliamente usados para el monitoreo de poblaciones animales (Lancia et ál. 2005). Entre los más usados se encuentran, los índices directos (conteo de animales), como el número de aves por punto de conteo de radio específico o el número de animales por km de transecto, y los índices indirectos (conteo de rastros o señales de la especie), como el número de huellas por km de transecto o el número de madrigueras o nidos por unidad de superficie. Sin embargo, el uso de estos índices para realizar comparaciones entre áreas o en el tiempo, requiere un supuesto crítico, que exista una relación monotónica (Thompson et ál. 1998). Sin embargo, como la relación entre el índice y el parámetro de interés, por ejemplo, la abundancia o densidad es desconocida, los índices tienen una utilidad limitada (Witmer 2005). En este sentido, se debería limitar su uso a solo aquellas ocasiones donde no existan otras alternativas, y aún en esos casos, los resultados obtenidos deberían interpretarse con precaución.

1.9.2 Métodos que ajustan por la detectabilidad

Los métodos que ajustan por la detectabilidad son preferidos a los índices de abundancia. La preferencia radica en que pueden producir estimados no sesgados del parámetro de interés, por ejemplo, la densidad de población. Sin embargo, para que esto ocurra se debe cumplir de manera satisfactoria los supuestos detrás de estos métodos. Existen muchos métodos que pueden ser aplicados en diferentes situaciones y para diferentes grupos de organismos. Estos procedimientos incluyen aquellos muestreos basados en conteos o capturas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Métodos basados en conteos o capturas para estimar la abundancia o densidad de una población animal

Métodos de conteos	
	Muestreo doble
	Muestreo de observadores múltiples
	Muestreo de distancia
	Muestreo de conteos repetidos
Métodos de captura	
	Muestreo de remoción
	Muestreo de captura y avistamiento (<i>mark-resight</i>)
	Muestreo de captura-recaptura

Fuente: Elaboración del autor, 2015.

Antes de implementar los métodos mencionados en el Cuadro 4, es necesario preguntarse si se requiere estimar la abundancia de la especie o no. Esto determinará qué método escoger siguiendo el árbol de decisiones que se muestra en la Figura 4. Cuando no se requiere conocer la abundancia, es posible usar un índice de abundancia, aunque sería aconsejable que el índice sea ajustado por la detectabilidad.

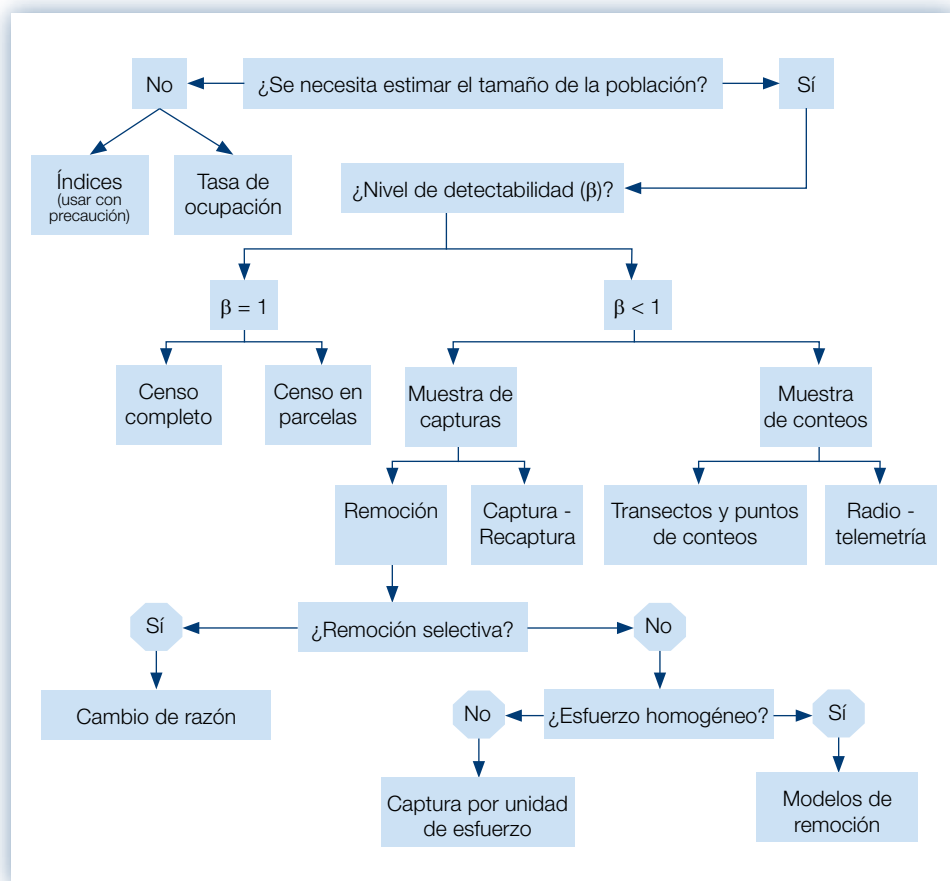


Figura 4. Árbol de decisión sobre métodos para medir la abundancia de población (basado en Lancia et ál. 2005).

1.9.3 Tasa de ocupación

Cuando no se requiere conocer la abundancia de una especie, una alternativa a los índices es estimar la proporción de área ocupada o la tasa de ocupación de la especie. Esta métrica es preferible a los índices porque es un parámetro de la especie que es estimable, y no así, los índices de abundancia. La tasa de ocupación de una especie es una métrica que está siendo ampliamente utilizada en programas de monitoreo de resolución media, donde la abundancia no es un requerimiento para el manejo o conservación de la especie. La tasa de ocupación se puede estimar mediante modelos de ocupación que han sido desarrollados para estimar dicha tasa, teniendo en cuenta la probabilidad de detección de la especie (MacKenzie et ál. 2002, MacKenzie et ál. 2005). Los modelos de ocupación consideran los datos que usualmente se trataban como datos de presencia-ausencia y como datos de detección-no detección (Royle y Dorazio 2008).

1.10 Analizar los datos

El análisis de los datos en un programa de monitoreo incluye muchas técnicas o análisis estadísticos (Liczner 2014). Independientemente de la técnica estadística a usar, se debe especificar con anterioridad a la colecta de los datos. Además, el análisis debe ser el apropiado para el diseño de muestreo implementado.

El análisis de los datos debe enfocarse en la magnitud del efecto y no en el tradicional enfoque de las pruebas de significancia de hipótesis nula (Johnson 1999). Focalizándose en la magnitud del efecto se puede evaluar el resultado en función de la significancia práctica, en lugar de evaluarlo en función de la significancia estadística, como lo hacen las pruebas de significancia de hipótesis nula (Läärä 2009).

Un enfoque moderno para el análisis de los datos en el monitoreo de la restauración del paisaje lo proporcionan los modelos de regresión lineales y no lineales (Figura 5). Mediante modelos de regresión se pueden estimar parámetros en el marco de selección de modelos e inferencia multimodelos (Burnham y Anderson 2002). Bajo esta aproximación es posible identificar el mejor modelo que explica los datos y, además, usar el promediado de los modelos para estimar los parámetros de interés (Symonds y Moussalli 2011).

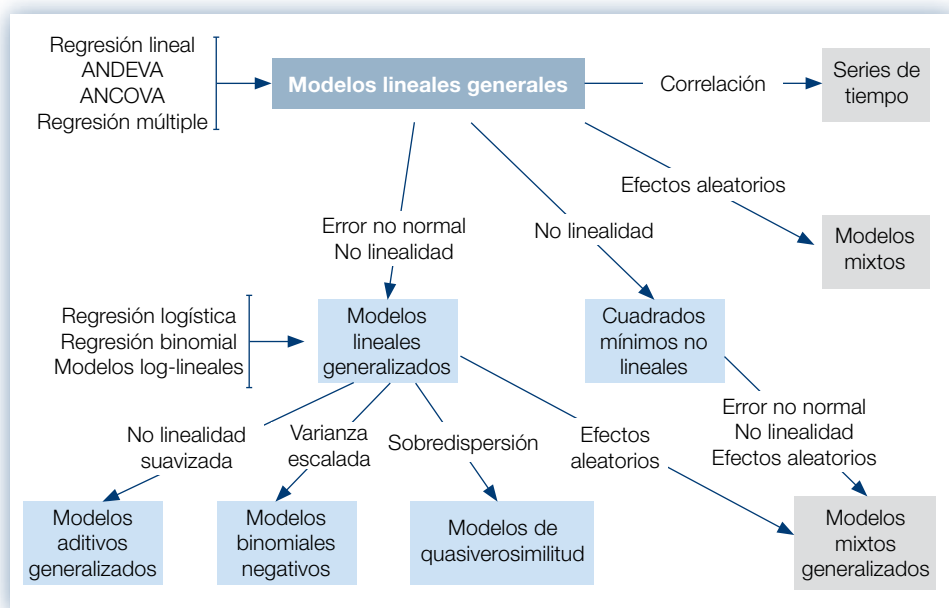


Figura 5. Modelos estadísticos para el análisis de datos de monitoreo de proyectos de restauración del paisaje. Los modelos incluidos en bloques grises incluyen niveles múltiples de variabilidad (basado en Bolker 2008).

Las variables, respuestas que resultan del monitoreo de la restauración del paisaje pueden ser continuas, conteos, o datos de presencia-ausencia (Cuadro 5). Para variables respuestas continuas se deben ajustar modelos lineales generales, pero si los supuestos de homogeneidad de varianza e independencia de las observaciones no se cumplen, entonces se deben ajustar modelos de cuadrados mínimos generalizados. Cuando las variables respuestas son conteos o datos de presencia-ausencia, se deben ajustar modelos lineales generalizados. Para los conteos se debe usar una familia exponencial *poisson*, y para datos de presencia-ausencia, se debe usar una familia exponencial binomial (Zuur 2007).

Cuadro 5. Tipos de variables respuestas y modelos estadísticos sugeridos para el análisis de datos de monitoreo de proyectos de restauración del paisaje

Variable respuesta	Modelo
Continua	Modelo lineal general, modelo lineal generalizado (con familia exponencial gaussiana), modelo aditivo generalizado (con familia exponencial gaussiana), mínimos cuadrados generalizados (cuando las varianzas no son homogéneas y los datos están correlacionados), modelos mixtos (con efectos aleatorios).
Conteos	Modelo lineal generalizado (con familia exponencial <i>poisson</i>), modelo aditivo generalizado (con familia exponencial <i>poisson</i>), modelos mixtos generalizados (con familia exponencial <i>poisson</i> y efectos aleatorios).
Presencia-ausencia	Modelo lineal generalizado (con familia exponencial binomial), modelo aditivo generalizado (con familia exponencial binomial), modelos mixtos generalizados (con familia exponencial binomial y efectos aleatorios).

1.11 Evaluar los resultados

Una vez obtenidos los resultados se deben evaluar para comprender el alcance de la restauración. La evaluación permitirá conocer si la restauración logró el o los objetivos, o si se deben modificar las acciones de restauración. Este tipo de aproximación se enmarca en el manejo adaptativo.

El manejo adaptativo usa el monitoreo para evaluar los efectos de acciones de manejo sobre los recursos naturales, y a través de los resultados, considerar el éxito de las acciones o la necesidad de modificarlas para alcanzar los objetivos deseados (Walters 1986). En la restauración, las acciones restaurativas se ponen en práctica de manera progresiva y se evalúan los resultados. Si los resultados están de acuerdo con las predicciones, las acciones continúan. Si los resultados muestran que las predicciones no se cumplen, entonces se deben modificar las acciones de restauración (Bolck et ál. 2001).

En algunas ocasiones el monitoreo se mantiene por períodos largos de tiempo y de manera periódica para corroborar que los objetivos de restauración se lograron y permanecen a través del tiempo. Este tipo de monitoreo puede ser costoso y se le llama monitoreo de vigilancia, en contraposición al monitoreo focalizado, que es aquel que se enmarca dentro

del manejo adaptativo, que culmina cuando los objetivos de restauración han sido alcanzado (Nichols y Williams 2006).

1.12 Comunicar los resultados

Para comunicar los resultados es necesario revisarlos en el contexto de los objetivos del programa de monitoreo implementado para dar a conocer el mensaje principal. Luego se debe identificar la audiencia que recibirá el mensaje, lo que informará, dónde y cómo comunicarlo. A esto va asociado que tipo de medio se va a usar, por ejemplo, cara a cara (reuniones, conferencias, audiovisual (TV, radio), escrito (sitios web, revistas, periódicos) o medios sociales (Facebook, Twitter). La información debe ser clara y concisa; se recomienda el uso de gráficos.

Bibliografía

- Block, William M.; Franklin, Alan B.; Ward, James P., Jr.; Ganey, Joseph L.; White, Gary C. 2001. Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restoration ecology* 9(3): 293-303.
- Bradshaw, A.D. 2002. Introduction and philosophy. pp. 3-9 in *Handbook of Ecological Restoration*, vol. 1: Principles of Restoration. M.R. Perrow. y A.J. Davy, editores. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Bolker, B.M. 2008. *Ecological Models and Data in R*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, EE.UU.
- Bubb P., A.A.R. Almond, A. Chenery, D. Stanwell-Smith, V. Kapos y M. Jenkins. 2011. Alianza sobre Indicadores de Biodiversidad. Guía para el desarrollo y el uso de indicadores de biodiversidad nacional. PNUMA World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, Reino Unido.
- Burnham, K.P. y D.R. Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Segunda edición. Springer, Berlín, Alemania.
- Choi, Y.D. 2007. Restoration ecology to the future: a call for new paradigm. *Restoration Ecology* 14:351-353.
- Clewell, A.F. y J. Aronson. 2013. *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession*. Second Edition. Island Press, Washington D.C., EE.UU.
- Cochran W.G. 1977. *Sampling Techniques*, 3rd Ed. John Wiley & Sons, New York, New York, EE.UU.
- Conroy, M.J. y Carroll, J.P. 2009. *Quantitative Conservation of Vertebrates*, Wiley-Blackwell, Oxford, Reino Unido.
- DeLuca, T.H., G.H. Aplet, y B. Wilmer. 2008. *The Unknown Trajectory of Forest Restoration: A Call for Ecosystem Monitoring*. The Wilderness Society, Washington D. C., EE.UU.

- Dey, D.C. y C.J. Schweitzer. 2014. Restoration for the future: endpoints, targets, and indicators of progress and success. *Journal of Sustainable Forestry*. 33(sup1): S43-S65.
- Eberhardt, L.L., y J.M. Thomas. 1991. Designing environmental field studies. *Ecological Monographs* 61:53-73.
- Elzinga, C.L., D.W. Salzer, y J.W. Willoughby. 1998. Measuring & monitoring plant populations. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, Denver, Colorado, EE.UU.
- Gasana, J. 2005. Monitoring and Evaluation. Páginas 125-134 en *Restoring forest landscapes: an introduction to the art and science of forest landscape restoration*. ITTO Technical Series No.23. International Tropical Timber Organization (ITTO) Tokyo, Japón.
- Hutto, R.L., y R.T. Belote. 2013. Distinguishing four types of monitoring based on the questions they address. *Forest Ecology and Management* 289:183-189.
- IUCN y WRI (2014). A guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM): Assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national level. Working Paper (Road-test edition). IUCN, Gland, Suiza.
- Johnson, D.H. 1999. The insignificance of statistical significance testing. *Journal of Wildlife Management* 63:763-772.
- Läärä, E. 2009: Statistics: reasoning on uncertainty, and the insignificance of testing null. *Annales Zoologici Fennici* 46:138-157.
- Lancia, R.A., W.L. Kendall, K.H. Pollock, y J.D. Nichols. 2005. Estimating the number of animals in wildlife populations. Páginas 106-153 in C.E. Braun, editor. *Techniques for wildlife investigations and management*. Sixth edition. The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, EE.UU.
- Legg, C.J., y L. Nagy. 2006. Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. *Journal of Environmental Management* 78:194-199.
- Liczner A.R. 2014. A systematic review of the statistical scope of restoration ecology of invaded grassland ecosystems. *PeerJ PrePrints* 2:e558v1 <http://dx.doi.org/10.7287/peerj.preprints.558v1>
- MacKenzie, D.I., J.D. Nichols, G.B. Lachman, S. Droege, J.A. Royle, y C.A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83(8):2248-2255.

- MacKenzie, D.I., J.D. Nichols, J.A. Royle, K.H. Pollock, L.L. Bailey, and J.E. Hines. 2005. Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence. Academic Press, Burlington, M.A. 324 pp.
- Manly, B.J.F. 1992. The design and analysis of research studies. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Nichols, J.D. y B.K. Williams. 2006. Monitoring for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 21(12):668-673.
- Royle, J.A. y R.M. Dorazio. 2008. Hierarchical modeling and inference in ecology: the analysis of data from populations, metapopulations and communities. Academic Press, London, Reino Unido.
- Ruiz-Jaen, M.C., y T.M. Aide. 2005. Restoration success: How is it being measured? *Restoration Ecology*, 13(3):569-577.
- Symonds, M.R.E. y A. Moussalli. 2011. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's Information Criterion, *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65:13-21.
- Thompson, W.L., G.C. White, y C. Gowan. 1998. Monitoring vertebrate populations. Academic Press. San Diego, California, EE.UU.
- Vallauri, D., J. Aronson, N. Dudley, y R. Vallejo. 2005. Monitoring and evaluating forest restoration success. pp. 150-156 en S. Mansourian y D. Vallauri, editores. *Forest restoration in landscapes*. Springer, New York, New York, EE.UU.
- Yoccoz N.G, Nichols J.D, Boulinier T. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16:446-453.
- Walters, C. J. 1986. Adaptive management of renewable resources. MacMillan, New York, New York, EE.UU.
- Williams, B.K., J.D. Nichols, M.J. Conroy. 2002. Analysis and Management of Animal Populations. Academic Press, San Diego, California, EE.UU.
- Witmer, G.C. 2005. Wildlife population monitoring: some practical considerations. *Wildlife Research* 32:259-263.
- Zuur A.F., Ieno E.N. y G.M. Smith. 2007. Analysing Ecological Data. Springer, New York, New York, EE.UU.



**UNIÓN INTERNACIONAL
PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (UICN)**

Oficina Regional para México, América Central y El Caribe

Apdo. Postal 607-2050

Montes de Oca, San José

Costa Rica

Tel: (506) 2283 8449

Fax: (506) 2283 8472

ormacc@iucn.org

www.iucn.org/ormacc